

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

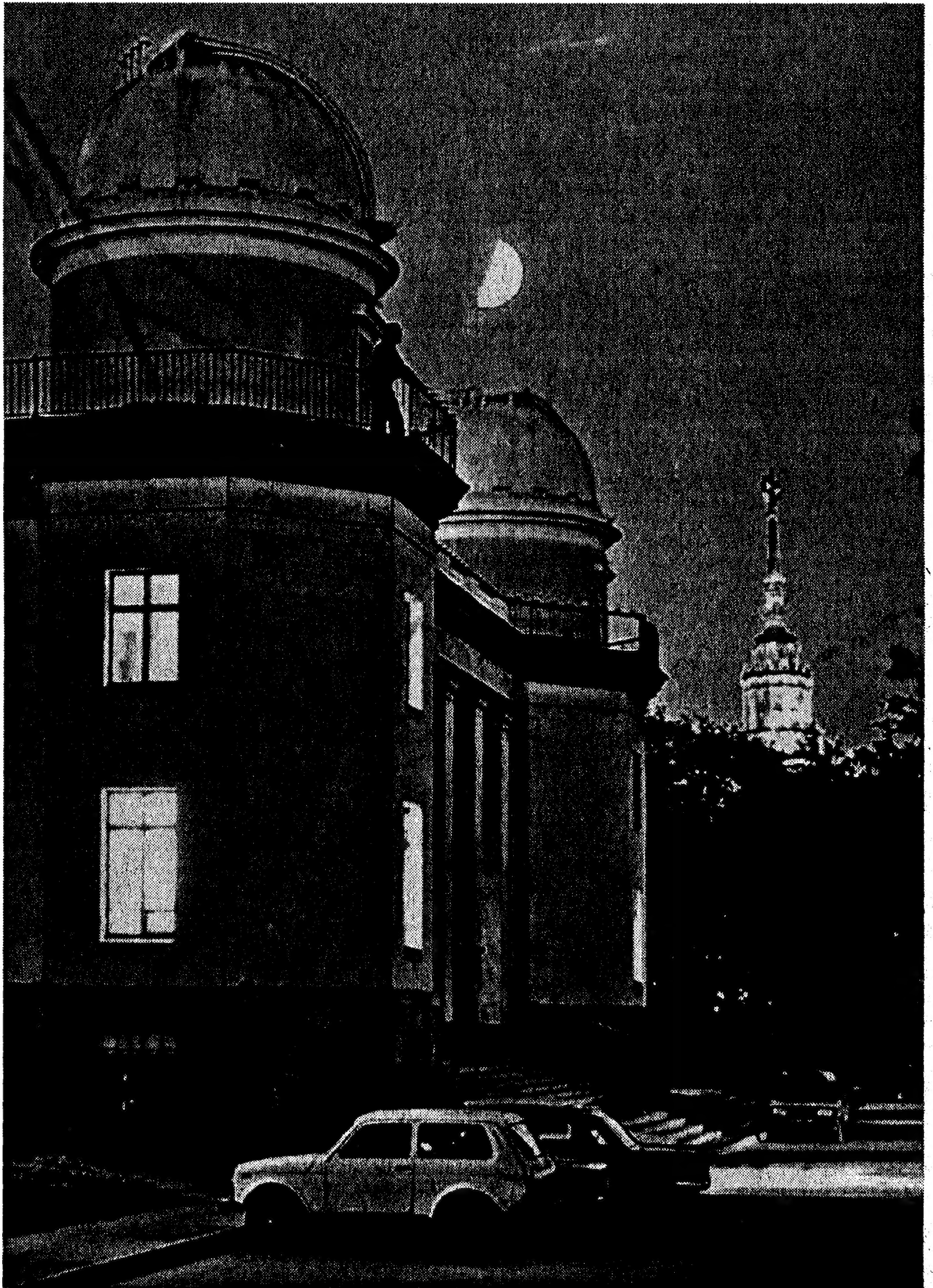
Ю. Н. Ефремов

Вглубь Вселенной



YPCC

*Посвящается Станиславу Лему
и памяти Иосифа Самуиловича Шкловского*



Ю. Н. Ефремов

Вглубь Вселенной

ЗВЕЗДЫ, ГАЛАКТИКИ И МИРОЗДАНИЕ

**Издание четвертое,
существенно переработанное**

Москва • 2003



УРСС

Ефремов Юрий Николаевич

Вглубь Вселенной. Звезды, галактики и мироздание.

Изд. 4-е, существ. перераб. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 264 с.

ISBN 5-354-00392-X

В книге рассказывается о том, как астрономы исследуют строение окружающего нас мира, к каким выводам они пришли к 2003 году. В первой трети XX века мы поняли, что звездная система Млечного пути — лишь одна из бесчисленных галактик, населяющих расширяющуюся Вселенную; в середине прошлого века стали известны строение и источники энергии звезд; в конце его мы уже начали говорить о множественности вселенных. Астрономия снова становится лидером естествознания, от ее выводов теперь зависит развитие физики. Автор старался сделать понятными не только результаты, но и методы исследований, особенно способы определения расстояний, на знаниях которых основаны наши представления о строении Вселенной.

Книга написана живым языком, она включает лишь минимум простых формул, но уделяет много внимания человеческому фактору в науке, степени обоснованности наших выводов и месту человека во Вселенной. Она предназначена для всех, интересующихся астрономией, от старшеклассников до специалистов в других областях науки.

Издательство «Едиториал УРСС». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.

Лицензия ИД № 05175 от 25.06.2001 г. Подписано к печати 25.06.2003 г.

Формат 60×90/16. Тираж 2000 экз. Печ. л. 16,5. Зак. № 3-995/220.

Отпечатано в типографии ООО «Рохос». 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.

ISBN 5-354-00392-X

	ИЗДАТЕЛЬСТВО
	УРСС
	НАУЧНОЙ И УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
	E-mail: URSS@URSS.ru
	Каталог изданий в Internet: http://URSS.ru
Тел./факс: 7 (095) 135-44-23	
Тел./факс: 7 (095) 135-42-46	

© Едиториал УРСС, 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к четвертому, полностью переработанному изданию	7
Введение. В гостях у астрономов	10
Глава 1. История звездных карт	23
Глава 2. Расстояния звезд	38
Глава 3. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела	45
Глава 4. Звездные скопления	52
Глава 5. Верстовые столбы Вселенной	67
Глава 6. Открытие нашей Галактики	78
Глава 7. Первопроходцы Вселенной	83
Глава 8. Эволюция звезд	94
Глава 9. Звездные ассоциации и звездные комплексы	109
Глава 10. Загадка звездных дуг	125
Глава 11. Галактика «Млечный Путь»	140
Глава 12. Магеллановы Облака	155
Глава 13. Туманность Андромеды	167
Глава 14. Галактики близкие и далекие	183
Глава 15. Квазары и ядра галактик	193
Глава 16. Красное смещение	206
Глава 17. Будущее принадлежит астрономии	218
Глава 18. Разум во Вселенной	233
Заключение. Горизонт познания	245

*Природа, мир, тайник Вселенной!
Я службу долгую твою,
Объятый дрожью сокровенной,
В слезах от счастья отстою.*

Борис Пастернак

ПРЕДИСЛОВИЕ К ЧЕТВЕРТОМУ, ПОЛНОСТЬЮ ПЕРЕРАБОТАННОМУ ИЗДАНИЮ

Эта книга рассказывает о мире звезд и галактик, о том, как разумные существа, затерянные на ничтожной пылинке в безмерных глубинах Вселенной, сумели понять, где они живут, как устроен наш Мир...

Автор старался рассказать, как труден был путь к современной картине мира, и не избегал деталей, показывающих глубину человеческих заблуждений. Страницы, посвященные последним достижениям астрономии, должны быть доступны всем интересующимся этой наукой. Рекомендую эту книгу одному физика, начинавшему заниматься астрономическими проблемами, Я. Б. Зельдович когда-то сказал — не обращайтесь на заголовок, это хорошая книга. Успех предыдущих изданий, перевод книги на болгарский, венгерский и немецкий (три издания) языки позволяет надеяться, что она нашла своего читателя.

Наш подход соответствует специфике звездной астрономии, которая изучает коллективные характеристики звезд и взаимосвязи между ними; системный подход в ней неизбежен и применялся задолго до его нынешней популярности. Водораздел проходит там, где мы от свойств отдельных объектов переходим к изучению их совокупности: астрофизика изучает деревья, звездная астрономия — лес.

Описание звездных систем и их расположения в пространстве несколько напоминает задачи, стоявшие некогда перед географией и ныне исчерпанные. Астрономии такая опасность не грозит, Вселенная необъятна. Многие результаты были добыты при анализе и обобщении наблюдательных данных задолго до того, как им было дано физическое обоснование. Особенно это относится к развитию методов определения расстояний до звезд и галактик, которым в книге уделяется особое внимание. Без знания расстояния ничего нельзя сказать о природе небесного объекта; это центральная проблема при изучении строения и нашей Галактики, и всей Вселенной.

* * *

Много воды утекло за время, прошедшее после выхода в свет последнего, 3-го издания (1984). Несколько лет назад астрономия вступила в давно предвидимую наиболее прозорливыми исследователями фазу развития, — ее передний край, астрофизика высоких энергий и космология, слились в единое целое с авангардом физической науки, построением

единой теории взаимодействий и элементарных частиц. Хотя крупнейшие физики давно уже занимались проблемами начальных стадий развития Вселенной, черных дыр и т. д., сейчас понимание общности задач астрофизики и физики микромира становится всеобщим. «Будущее принадлежит астрофизике» — эти слова Л. А. Арцимовича, сказанные в 1972 г., сейчас находят множество подтверждений. Это будущее пришло. Еще в 1993 г. в США было остановлено строительство суперколлайдера (сверхмощного ускорителя элементарных частиц), но непрерывно строятся все более мощные телескопы; разрабатывается проект 100-метрового оптического телескопа. Вселенная становится ныне ускорителем не только для бедного человека (как говорил Я. Б. Зельдович), но и для самых богатых людей! Именно телескопы, наземные и космические, дают ныне возможность проверять наблюдениями самые последние выводы физической теории.

Недавно получены бесспорные наблюдательные свидетельства присутствия в ядрах галактик черных дыр с массами в миллионы масс Солнца, а также очень серьезные подтверждения существования черных дыр со звездными массами. Они могут быть окнами в другие вселенные и другие времена! Пять лет назад было доказано, что загадочные гамма-всплески являются сверхмощными взрывами в далеких галактиках, но природа их еще не ясна. С 1995 г. началось обнаружение планет у других звезд, и ныне их уже известно более сотни. Открываются новые горизонты для понимания происхождения Солнечной системы и нашей Земли (и значит, для геологии), для поисков жизни (в том числе разумной) во Вселенной.

Астрономические наблюдения привели в последние годы к неожиданным открытиям, ставящим новые проблемы для всего естествознания. Все более острой становится старая проблема скрытой массы, обнаруживаемой только по ее гравитации. Неожиданно возникла проблема антигравитационных свойств пространства. Четыре года назад наблюдения вспышек далеких сверхновых звезд и измерения их расстояний привели к выводу о том, что в настоящее время Вселенная расширяется ускоренно. Полученное из новых результатов космологии значение плотности энергии вакуума не равно нулю, и это ставит серьезнейшие проблемы перед теоретической физикой.

Как и во времена Ньютона, астрономия снова становится источником нового знания о физике Мира. Исследование Вселенной является теперь заботой не только малочисленного сообщества астрономов, но и делом, от которого зависит дальнейший прогресс всей физической науки.

Новое издание книги радикально переработано с учетом современных достижений. Шесть глав являются новыми, в остальных учтены новые результаты; убраны некоторые технические подробности. Они оставлены все же в первых главах, посвященных методам определения расстояний; причины этого поясняются в конце главы 2. Интересующиеся только результатами могут пропустить первые пять глав. На полноту изложения автор не претендует, это не учебник, и выбор тем субъективен. Однако

в последних трех главах обозначены глубочайшие проблемы современного естествознания, и в них совсем нет формул. Как и раньше, изложение ведется в историческом плане; ретроспектива позволяет оценить надежность современных данных и возможности дальнейшего проникновения в глубь Вселенной.

Моим коллегам А. В. Засову, В. Г. Сурдину и А. Д. Чернину я признателен за советы и замечания, учтенные при подготовке этого издания. С благодарностью я отмечаю беседы с В. А. Лефевром, которые нашли отражение в последних главах книги, хотя наши взгляды не всегда совпадали. Моему сыну Е. Ефремову я признателен за помощь в подготовке некоторых рисунков.

Март, 2003

Ю. Ефремов

ВВЕДЕНИЕ. В ГОСТЯХ У АСТРОНОМОВ

*Полночных солнц к себе нас манят светы,
В колодцах труб пыливый тонет взгляд,
Алмазный бег вселенные стремят;
Системы звезд, туманности, планеты...*

Максимилиан Волошин

Наблюдения у телескопа, даже в наилучших условиях, утомительны. В худшем случае может быть холодно и тоскливо...

Аллан Сендидж

Интеллектуальные орудия, без которых было бы невозможно развитие современной техники, пришли в основном от наблюдения звезд.

Альберт Эйнштейн

Зигзаги горной тропы приводят к небольшим, окованным железом воротам, перекрывающим проход между скальными стенами. За ними — Чуфут-Кале, развалины укрепленного города, основанного задолго до прихода в Крым татар. Жизнь теплилась в нем вплоть до конца XIX века. Узкие улочки среди нагромождения камней, бывших когда-то домами, прохлада пещерных подвалов, зной каменной пустыни... И только врезанные в известняк глубокие колеи, просверленные колесами телег, напоминают о многих веках отшумевшей жизни. С обрыва открывается вид на соседние плосковершинные горы, на уходящие к востоку холмы, за которыми тянется волнистая синяя гряда Яйлы, начинаясь с трапеции Чатырдага.

Туда, за холмы, шагают от Бахчисарая столбы высоковольтной линии. Спустимся с плато и пойдем вдоль нее. Для этого придется пройти две стены, отсекающие скальный полуостров. Древняя дорога, выходящая из ворот второй стены, уходит по рву налево и спускается вниз. Вначале и на ней заметны колеи, протертые веками, но вскоре дорога превраща-

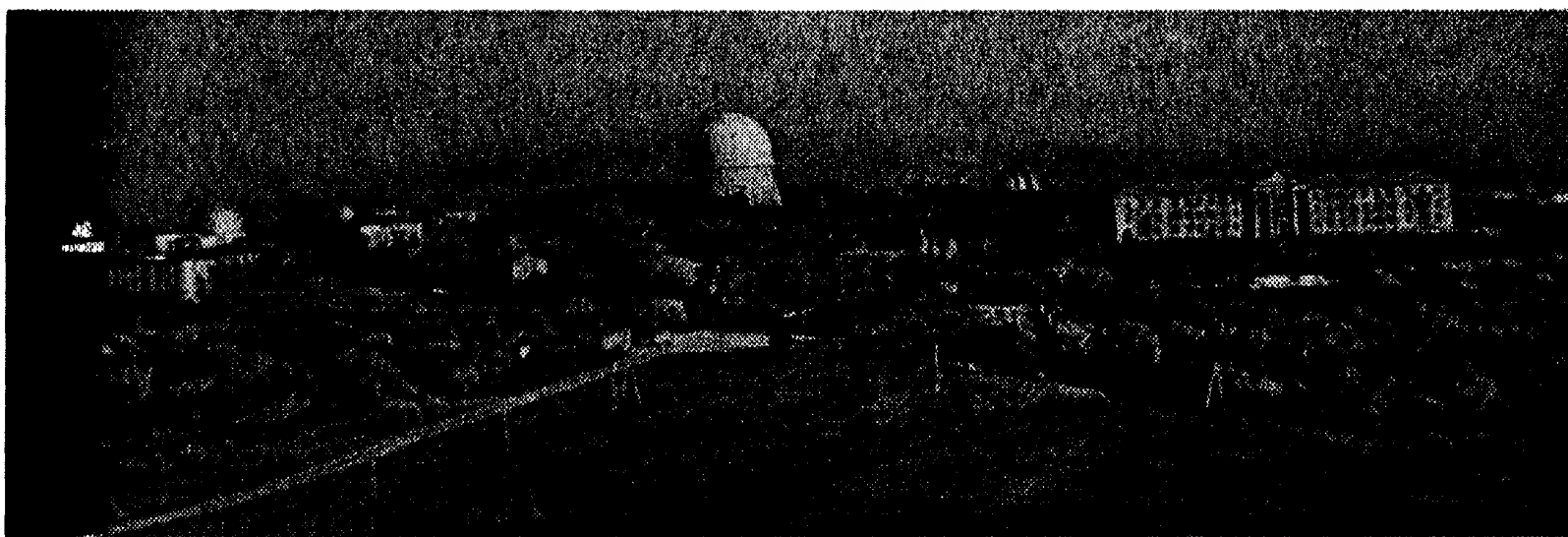


Рис. 1. Панорама Крымской астрофизической обсерватории.
Слева — станция ГАИШ

ется в заросшую горную тропу, каких много в Крыму. По виноградникам и сосновым посадкам дорога поднимается затем на плоскую вспаханную вершину Сельбухры. Далеко справа, под обрывистой макушкой Тепе-Кермена, зияют отверстия пещер. Кто вырыл их, когда?.. И вдруг за ложбиной, на длинном холме встают белые и серебряные купола (рис. 1). Это Крымская астрофизическая обсерватория. Рядом приютилась наблюдательная станция московского Государственного астрономического института имени Штернберга (ГАИШ), входящего в состав Московского университета. Четыре крупных телескопа и более десятка малых каждую ясную ночь поднимают свои трубы вверх. Астрономы, инженеры и их семьи населяют целый поселок, и жизнь всех его обитателей так или иначе связана с небом.

Астронома-наблюдателя легко узнать — выходя на улицу, он непременно поднимает голову вверх: «будет небо или нет?» Как для моряка и для летчика, разговор о погоде для астронома — отнюдь не средство поддержать угасающую беседу, от погоды зависит его работа. И вот сегодня вечером погода ясная, на башне ЗТШ — «зеркального телескопа имени Шайна» (рис. 2), с диаметром зеркала в 2,6 м, горит зеленый огонек. Медленно раздвигаются створки люков, поворачиваются купола. Войдем в одну из небольших башен. В тусклом свете красного фонаря блестит труба телескопа, размеренно стучит секундный контроль. Это широкоугольный астрограф, — в сущности, гигантский фотоаппарат, точно следующий суточному вращению неба. За 40 мин экспозиции на пластинке размером 30×30 см фиксируется от 20 000 до 300 000 звезд до 17-й величины. Звезды живут, меняется их блеск

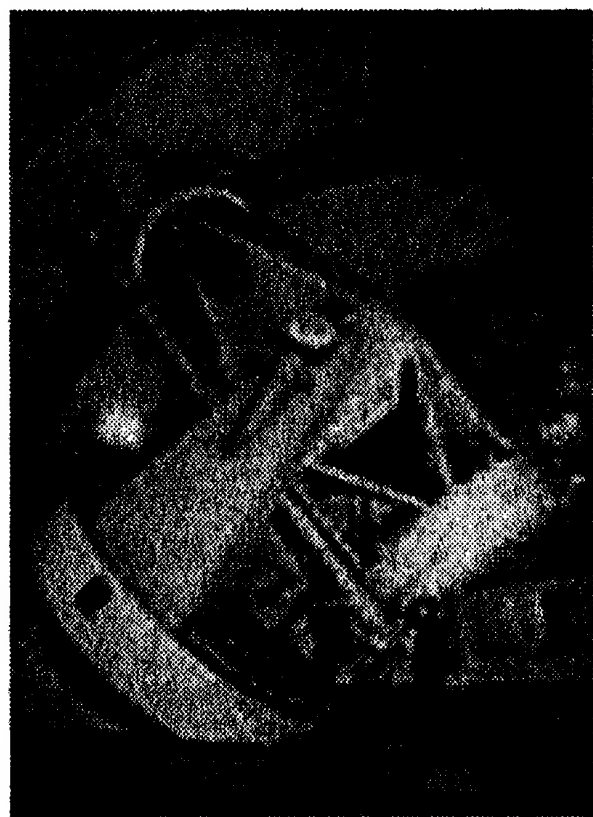


Рис. 2. ЗТШ — зеркальный телескоп имени Шайна. Замечательный астрофизик Г. А. Шайн был директором КраО в послевоенные годы

и положение на небе, и эти пластинки дают нам возможность определить движения и расстояния звезд, следить за их блеском, фиксировать взрывы звезд и ядер галактик.

В соседней башне на небольшом рефлекторе ведутся фотоэлектрические наблюдения блеска звезд. Ток с фотоумножителя, рожденный светом звезды, поступает на самописец или счетчик фотонов, и в результате с точностью, намного превышающей возможности фотографии, фиксируется приходящее на Землю излучение звезды в разных участках спектра. Одновременно можно измерить лишь одну звезду, но без точного определения блеска звезд невозможно определение расстояний, светимостей, масс и радиусов, невозможно полноценное использование фотопластинок, которые калибруются с помощью фотоэлектрических измерений блеска. Большие телескопы служат преимущественно для спектральных наблюдений. Темная полоска изображения спектра на фотоэмульсии может сказать нам о температуре звезды и ее светимости, о химическом составе и движениях газа в атмосфере, о вращении и магнитном поле звезды, сообщить, с какой скоростью звезда или галактика движутся вдоль луча зрения.

Если секундный контроль работает хорошо, наблюдатель может позволить себе оторваться от окуляра и полюбоваться звездным небом. Темнота, мерцающая россыпь звезд, тлеющая светлая дымка Млечного Пути... Таинственные древние имена — Вега, Денеб, Альтаир... Темная полоса облаков межзвездной пыли рассекает надвое Млечный Путь, начинаясь от Лебедя и уходя вниз к сияющему низко на юге Стрельцу. Там загадочный центр Галактики, ее ядро. Силуэт Чатырдага чуть вырисовывается на востоке. Из соседних башен, зияющих чернотой открытых люков, доносится жужжание моторов. Временами слышен мощный гул — поворачивается многотонный купол башни ЗТШ, переходящего на новый объект. Эти звуки лишь подчеркивают тишину и спокойствие ночи...

* * *

А теперь пора признаться — предыдущие строки были написаны 30 лет назад. Отошла к Украине Крымская астрофизическая обсерватория, но станция ГАИШ по-прежнему принадлежит России. Закончились запасы фотопластинок, но продолжаются фотометрические и спектральные исследования звезд. Эра фотографии в астрономии закончилась и во всем мире, она продолжалась около ста лет. Астрономические фотопластинки еще выпускаются, но стоят они на вес золота и почти не находят спроса. Светоприемники с зарядовой связью (Charge Coupled Devices, CCD-камеры) сменили фотоэмульсию не только в спектрографах, но и при фотометрии больших участков неба. Правда, при этом приходится использовать мозаику из многих CCD, ибо площадь светочувствительной поверхности каждой из них — всего лишь несколько квадратных сантиметров. Эти камеры близки к идеалу, их квантовый выход достигает 90 % (сравнительно с немногими процентами у фотоэмульсии) — то есть 90 % энергии падающих на поверхность светоприемника фотонов преобразуется в электрический заряд, который накапливается и возрастает линейным

образом с числом фотонов; к тому же эти светоприемники чувствительны ко всем длинам волн.

Радикально изменились методы астрономии, но по-прежнему астрономы, занимающиеся наблюдениями звезд, делятся на астрометристов, фотометристов и спектроскопистов. Первые занимаются прежде всего положением звезды и ее движением в картинной плоскости, вторые — блеском звезды, как общим, так и в отдельных участках спектра, третьи — деталями спектра, линиями в нем. Не стоит спорить о том, что важнее. На этих трех китах стоит все здание звездной астрономии, и без любого из них оно рухнуло бы.

В последнее время специализация астрономов уменьшилась по применяемым методам (особняком еще стоит радиоастрономия), но, пожалуй, возросла по предмету исследования. Астрофизик, детально исследующий индивидуальные звезды, с трудом понимает тех, кто занимается целыми галактиками. А скопления галактик составляют уже предмет, переходный между собственно астрономией и космологией, которая на базе астрономических данных и физической теории пытается понять всю Вселенную. Эта не только теория относительности, но также и теория элементарных частиц и физических взаимодействий, дальнейшее развитие которой теперь невозможно без данных, добываемых астрономией на самой границе наблюдаемой Вселенной. Как и предвидел Блез Паскаль еще в XVII веке, исследования природы на предельно малых и предельно больших масштабах оказались единой задачей!

Об этом парадоксе мы еще будем говорить в конце книги, а пока только отметим, что движение к «единой теории всего», цели, к которой асимптотически стремится естествознание, требует развития и всех промежуточных ступеней. Так, без детальных исследований звезд невозможно развитие теории звездной эволюции и определение не только возраста, но и расстояния звезд и звездных скоплений, а затем и расстояния галактик, которые составляют исходный материал для построения космологических теорий.

Понимание природы, происхождения и источников энергии звезд явилось крупнейшим достижением астрономии XX века. Масштабнее его было только доказательство того, что наша Галактика — система Млечного Пути — не всеобъемлющая единственная звездная система (тождественная в сущности всей Вселенной — как многие думали еще в 20-х годах XX века), а одна из бесчисленных галактик в расширяющейся Вселенной. Но в отличие от космологической проблемы природы и происхождения Вселенной и тесно связанной с ней проблемы происхождения галактик, есть основания думать, что наше понимание природы звезд является окончательным. Последние сомнения развеялись летом 2001 г., когда наконец зафиксировали нейтрино, рождающиеся в недрах Солнца при термоядерных реакциях, источниках энергии звезд.

Уверенность в правильности теории звездной эволюции была главным мотивом отрицания выводов некоторых астрономов о нестабильности и, следовательно, молодости скоплений галактик. Старейшие звезды

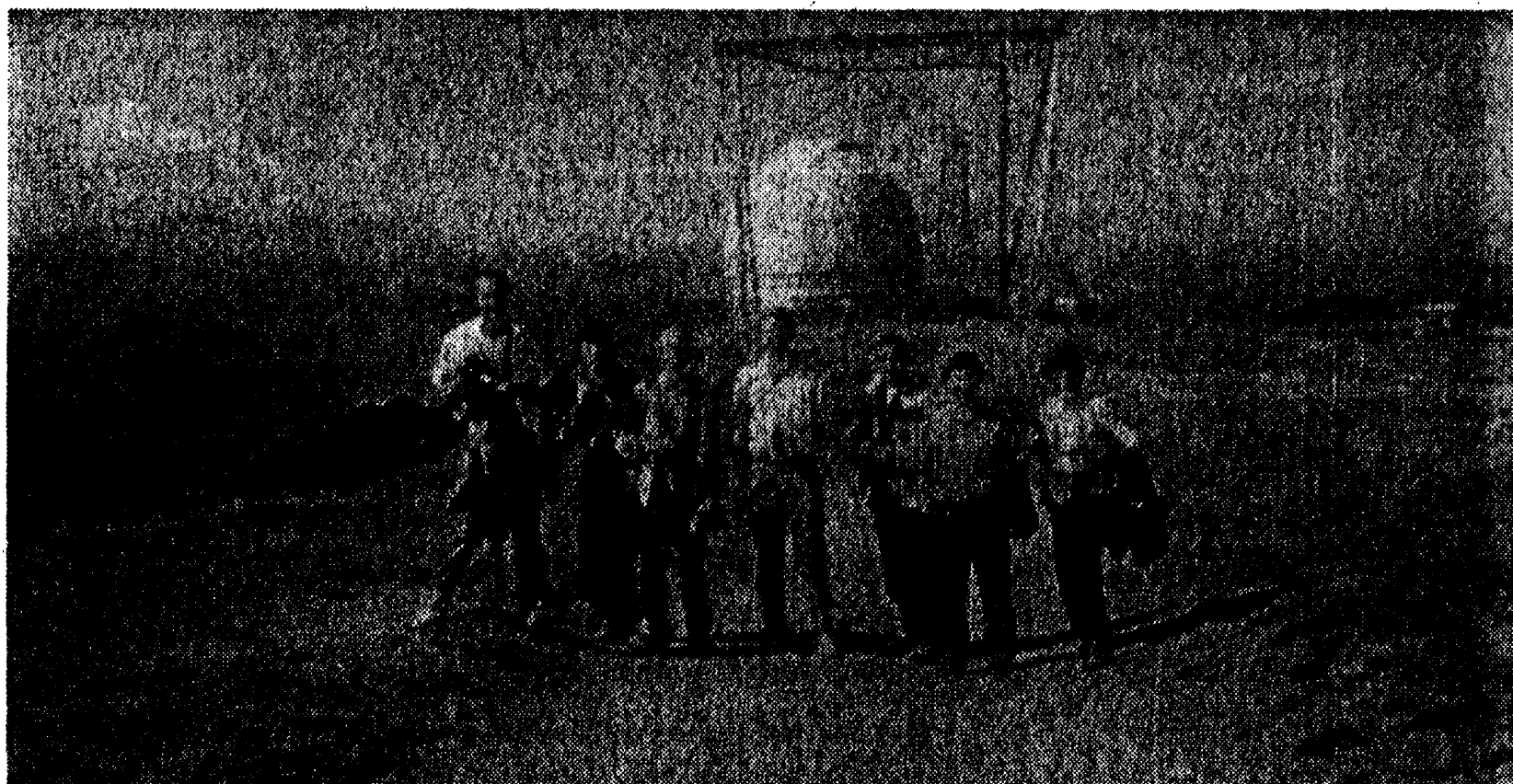


Рис. 3. Башня БТА (Большого телескопа азимутального) САО РАН. 1993 г. (Автор — третий слева, четвертый — Б. Эльмегрин)

в этих галактиках, согласно теории звездной эволюции, имеют возраст намного больший, чем получался для скоплений галактик на основании высоких скоростей движения галактик в них, и отсюда делался вывод, что эта теория ошибочна. Однако эти скорости можно было совместить с устойчивостью скоплений в предположении, что масса галактик намного больше той, которая заключена в непосредственно наблюдаемых звездах и газе. Так оно и оказалось — но природа этой скрытой массы, темного вещества, неясна и по сей день, уже более 30 лет... Решение одной научной проблемы как правило порождает новую, область познания непрерывно расширяется, но похоже, что при этом увеличивается и площадь соприкосновения с неизвестным. Существование проблемы скрытой массы означает очевидно, что мы еще не понимаем происхождения галактик; ясно только, что оно свершалось в глубоком прошлом, вскоре после начала расширения Вселенной.

Чистых теоретиков среди астрономов мало; точнее говоря, это скорее физики, занимающиеся и астрономическими проблемами. Применение теории для объяснения наблюдательных данных — другое дело, но это скорее относится к интерпретации. Систематизация этих данных и построение феноменологической модели объекта также относится к интерпретации, которая играет особую роль в астрономии. Физический эксперимент в ней не нуждается, физик сам строит прибор и знает, что в нем происходит. Мы же видим только картинку в проекции на небесную сферу и полосы в спектре объекта. Собрать и систематизировать данные о похожих объектах — начало пути. Физик может менять условия эксперимента, астрономам остается только ждать, не изменится ли блеск или спектр объекта. Это всегда помогает понять его природу. Так, периодические смещения спектральных линий объекта SS 433 были объяснены

первоначально чисто феноменологически, как результат выброса узких потоков вещества в двух противоположных направлениях вдоль прецессирующей оси вращения, предположительно звездного остатка Сверхновой звезды. Дальше уже можно строить теорию.

Главная специфика астрономии — конечно, наблюдения у телескопа. Именно поэтому астрономы-наблюдатели еще недавно — а у нас и поныне — вынуждены были жить вдаль от цивилизации, в пустынных горах (рис. 3), где лучше качество изображений, небо не засвечено огнями городов и больше ясных ночей. В больших зарубежных обсерваториях на наблюдения приезжают сменные команды наблюдателей и механиков, а в последние годы собственно астрономов на новые телескопы просто не пускают — всю работу делают специалисты по управлению этими сложнейшими приборами, а также (в последнее время все чаще) автоматика. Роль астронома свелась к составлению программы наблюдений — для результативности которых нужна ясно поставленная и оригинальная цель и, значит, хорошее знание положения дел в данной области.

* * *

Крупнейшие центры наблюдательной астрономии ныне расположены на Гавайских островах в Тихом океане, в Чили и на Канарских островах, на высотах 2–4 км от уровня моря. Все они находятся в совместном владении нескольких государств. Среде Тихого океана на потухшем вулкане Мауна Кеа работают два 10-метровых телескопа, и два 8-метровых, несколько меньших телескопов, а также 15-метровый инфракрасный телескоп. В Чилийской горной пустыне находятся несколько больших обсерваторий, в том числе Европейская южная, где недавно начали работать четыре 8-метровых телескопа, собираемый зеркалами которых свет вскоре можно будет объединить в единое изображение. Уже проведены первые опыты по использованию и этих телескопов, и 10-метровых телескопов на Мауна Кеа, как гигантских интерферометров. На острове Ла Пальма (архипелаг Канарских островов) работают астрономы Испании, Англии и скандинавских стран; на этой обсерватории Испания строит 10-метровый телескоп, который начнет работать в 2005 г.

В третьем издании этой книги (1984) был список 16 телескопов во главе с БТА, с зеркалами, превышающими 2,5 м. В настоящее время в мире работают (или заканчивается строительство) 14 оптических телескопов класса 3,5–4 м, пять телескопов класса 5–6 м, восемь телескопов с зеркалами по 8 м и семь телескопов класса 10 м. Один из этих 34 телескопов, 6-метровый, принадлежит России. В 1984 г. телескопов с зеркалом, превышающим 3,5 м, было всего 9.

На «полном серьезе» разрабатываются проекты 30-метрового (США) и даже 100-метрового (Европейская южная обсерватория) оптических телескопов. Этот OWL (Overwhelmingly Large telescope — ошеломляюще большой телескоп, в сокращении *owl* — сова (англ.)) телескоп будет достигать объектов 38-й величины за 10 часов экспозиции. Это значит,

что ему будут доступны сверхновые звезды с красным смещением до $z = 10$, дальше самых далеких известных ныне галактик (имеющих красное смещение 6,6). Впрочем, при таких z звезд, наверно, еще не было...

Разработаны методы улучшения качества изображения, испорченного атмосферной турбуленцией и гнутием зеркала. Для этого нужна в поле зрения достаточно яркая звезда, по которой можно отслеживать и исправлять в реальном времени искажения волнового фронта; если же ее нет, лазерный пучок создает в атмосфере изображение искусственной звезды. Технология,



Рис. 4. Заседание Американского астрономического общества, посвященное открытию 5-метрового телескопа на Маунт Паломар

разработанная для военных нужд, снова пригодилась в астрономии, как это было и с радиоастрономией, и со светоприемниками. Похоже, что главной проблемой этого фантастического, но скорого будущего станет защита сверхгигантских телескопов от ветровой нагрузки.

Современная картина мироздания — и об этом мы будем подробно рассказывать — создана в основном работой двух американских телескопов, 2,5-метрового на горе Вилсон под Лос-Анджелесом и 5-метрового на горе Паломар (рис. 4) в южной Калифорнии. Случилось так, что наша Галактика рас-

положена в бедном скоплении галактик и поэтому ближайшие галактики довольно близки к нам. Уже 2,5-метрового телескопа, который достигал звезд 21–22-й величины, оказалось достаточно, чтобы уверенно наблюдать в них ярчайшие звезды, и это позволило затем доказать существование множества галактик, звездных систем, аналогичных нашей Галактике Млечного Пути. С помощью этого же телескопа было открыто разбегание галактик и расширение Вселенной. Открыть Вселенную можно только один раз, но надо еще ее понять!

Американцы и поныне опережают Европу по диаметру зеркал действующих наземных телескопов, особенно в создании космических обсерваторий. Они на два порядка дороже наземных для телескопов одинакового размера, но позволяют вести наблюдения в ультрафиолете, в рент-

геновских и гамма-лучах, недоступных со дна атмосферного океана; они не зависят от погоды и дают изображения намного лучше, чем у наземных телескопов. С 1990 г. успешно работает 2,4-метровый космический телескоп имени Хаббла (Hubble Space Telescope — HST), позволяющий достичь объекты 30-й величины. В 2010 г. его сменит 6-метровый космический телескоп нового поколения, которому уже присвоено имя Джемса Вебба, второго директора NASA; он будет расположен во второй точке Лагранжа на расстоянии в полтора миллиона километров от Земли. Специализированные телескопы запускались (1989, аппарат «Гиппаркос») и планируются к запуску на околоземные орбиты также и для сверхточного измерения положений звезд — и значит, больших расстояний. Запуски подобных аппаратов, а также радиотелескопов на околосолнечную орбиту сулят в этом плане просто сказочные возможности.

В истории нашей страны был момент, когда мы обладали самым большим в мире телескопом, с диаметром зеркала в 6 м. В декабре 1975 г. на нем были получены пробные снимки, а в 1977 г. начались регулярные наблюдения. Он расположен в горах Северо-Западного Кавказа между станцией Зеленчукской и Архызом, на высоте 2 200 м. Этот

Большой телескоп азимутальный (БТА) является общенациональным инструментом; для его эксплуатации была создана Специальная астрофизическая обсерватория (рис. 3). И снова, как и астрономы Крымской обсерватории, ее сотрудники должны жить рядом с телескопом, а точнее говоря, под ним, в ущелье Большого Зеленчука. Долгие споры с тогдашним астрономическим начальством были бесполезны — мы живем

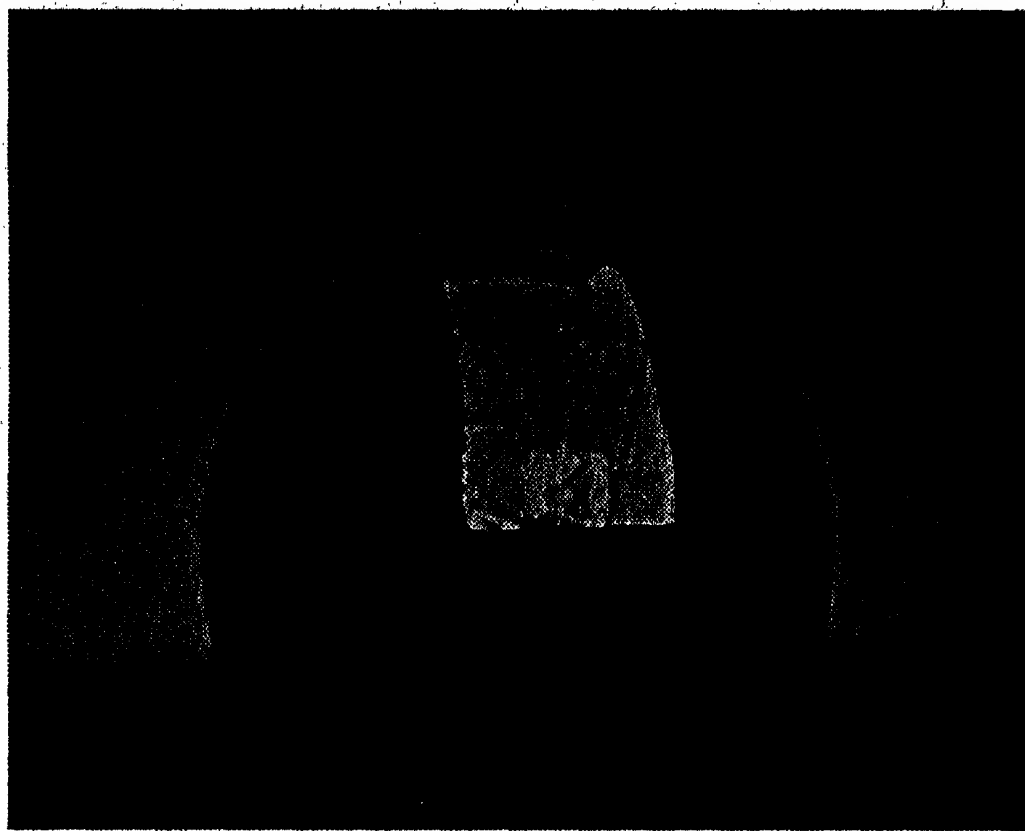


Рис. 5. Башня 10-метрового телескопа «Кек-2» на горе Мауна Кеа, Гавайские острова

на обсерваториях, заявляли они, и это совсем неплохо. Правда, эти обсерватории расположены в получасе езды от Ленинграда и часе — от Еревана, а до ближайшего университетского города (Ростова) от CAO около 400 км...

По мнению мировой астрономической общественности, БТА не оправдал возлагавшихся на него надежд. Главной причиной является сравнительно плохой астроклимат и долго продолжавшееся отсутствие современных светоприемников. В последние годы эту проблему удалось решить, но с плохими изображениями ничего сделать пока нельзя. Однако для многих задач, особенно спектральных, они пригодны, и, с помощью

разработанных ими самими оригинальных приборов, сотрудники САО получают теперь результаты, не уступающие мировому уровню.

Так или иначе, создание БТА несомненно стимулировало строительство больших телескопов за рубежом. В 1982 г. Калифорнийским университетом был утвержден проект 10-метрового телескопа, составное зеркало которого состоит из 36 зеркал диаметром каждое в 1,8 м, а с 1996 г. на Мауна Кеа работает уже и второй такой же телескоп (рис. 5). Они называются «Кек-І» и «Кек-ІІ», по имени миллиардера (Кеск), финансировавшего строительство. Телескопы расположены рядом друг с другом и будут использованы как интерферометры, аналогично 8-метровым телескопам Европейской южной обсерватории (рис. 6).

* * *

Понятно, что большие телескопы нам теперь не по карману, но имеются примеры участия отечественных астрономов в совместных программах и на HST, и на 10-метровом телескопе Кека. Главная же



Рис. 6. Башни большого телескопа Европейской южной обсерватории, Чили

наша экологическая ниша в мировой астрономии (конечно, помимо чисто теоретических работ) — это новые идеи и поиск интересных объектов, на которые следует навести большие телескопы, а также длительное слежение за нестационарными объектами, будь то переменные звезды или переменные квазары и ядра галактик, для чего годны и скромные телескопы. Здесь мы действительно конкурентоспособны. Так, более по-

ловины мирового банка точных измерений блеска и лучевых скоростей цефеид, звезд, пульсирующих с точностью часового механизма, создано наблюдениями астрономов ГАИШ, — а ведь цефеиды служат основой построения шкалы расстояний во Вселенной и изучения структуры и кинематики Галактики. Кроме того, повторные наблюдения этих звезд позволяют изучать изменения их периодов, которые определяются эволюционными изменениями структуры звезды — это едва ли не единственный случай, когда такие изменения удастся непосредственно наблюдать. В мире переменных звезд много и уникальных объектов, в том числе связанных с нейтронными звездами и черными дырами; данные об их текущем блеске необходимы для интерпретации спектральных и рентгеновских наблюдений.

Неограниченные возможности для успешной работы во всех областях астрофизики представляет и обработка накопленных на крупнейших телескопах наблюдательных данных, обычно доступных через Интернет. Как ни странно, довольно часто даже наблюдения, полученные на HST, годами остаются необработанными, — но уже через один год они становятся доступными для любого желающего. И почти всегда из наблюдений, полученных для конкретной задачи, можно извлечь много другой информации. Это справедливо и для опубликованных работ, особенно если свести воедино результаты нескольких исследований. Здесь неоценимую роль играет система Astrophysics Data Service, созданная НАСА. С помощью этой системы можно найти статью любого автора на любую тему, а зачастую также и прочесть ее. Это смягчает проблему доступа к текущей научной литературе, — даже и крупнейшие наши организации получают теперь далеко не все журналы...

Теперь два слова о том, что ждет ныне в России желающего профессионально заняться астрономией и получить астрономическое образование. Государственный астрономический институт им. Штернберга (ГАИШ) — не учебное заведение. Это научный институт в составе Московского государственного университета, и его директор состоит одновременно заведующим отделением астрономии физического факультета МГУ. Каждый год это отделение заканчивают около 20 студентов. Примерно столько же выпускников у астрономического отделения Петербургского университета и почти столь же разнообразны профили подготовки. Астрономия также преподается в университетах Казани, Екатеринбурга и Ростова.

По числу астрономов ГАИШ МГУ является крупнейшей астрономической организацией в России, далее следуют Пулково (ГАО РАН) и САО РАН. В Москве существует еще Астрономический институт РАН и Астрокосмический центр в составе Физического института РАН. Есть еще громадный Институт космических исследований РАН в Москве и Институт прикладной астрономии в Питере — но чем они занимаются, это другой вопрос.

А вот какая судьба ждет выпускника-астронома, сказать сейчас трудно. Трудолюбивый энтузиаст, любящий лесистые горы, имеет шанс прижиться в САО. Открыта дорога и в аспирантуру. Но затем зарплата будет ничтожна, меньше стипендии аспиранта, в городе вскоре встанет проблема физического выживания (в САО есть грибные леса и огороды). Начинать с молодости подрабатывать на стороне — значит не иметь времени, чтобы найти свой путь в науке. Между делом ею заниматься всерьез не получится — лучше уйти сразу. Значит, остается надеяться на поддержку родственников или искать место за границей. Усилиями «реформаторов» Россия превращена в мировую кузницу научных кадров... Впрочем, вскоре все это закончится, поскольку смены старшему поколению нет и учить молодежь скоро будет некому — между возрастами 30–50 лет в распределении российских ученых по возрастам глубокий провал.

* * *

Зарождение и развитие астрономии, как и других наук, было вызвано жизненными потребностями человечества. Астрономия — ровесница неолитической революции, превратившей наших предков из бродячих орд собирателей и охотников в земледельцев, которым жизненно необходимо предвидеть смену времен года. Наблюдения за небесными светилами позволили создать календарь. Потребности мореплавания стимулировали развитие астрономии в эпоху Возрождения. Для объяснения наблюдений звезд и планет была создана классическая механика, до конца XIX века остававшаяся единственной основой технических достижений человечества.

Но зачем нужна астрономия в наше время? Когда-то авторы научно-популярных книг отвечали на этот вопрос, указывая прежде всего на необходимость наблюдения звезд для определения точного времени, для навигации и картографии. Но уже несколько десятилетий молекулярные часы хранят время в тысячи раз точнее, чем вращение Земли, скорость которого фиксируется по звездам. После появления этих часов астрономические «Службы времени» стали заниматься не определением поправки часов (для чего фиксировались моменты прохождения звезд через небесный меридиан), а изучением неравномерности вращения нашей планеты. Теперь же эту задачу решают синхронные интерферометрические наблюдения на радиотелескопах, расположенных на разных континентах.

Точно так же навигационные и геодезические спутники давно уже позволяют определять координаты на земной поверхности с точностью, не достижимой астрономическими методами. Любой желающий может за сотню долларов приобрести прибор, который, принимая сигнал от этих спутников, мгновенно определит его положение — и с точностью, намного превышающей достигаемую ранее наблюдениями звезд на угломерных инструментах после трудоемких вычислений.

Непосредственных технических приложений астрономия теперь не имеет, разве что в околоземных и дальних полетах космических аппаратов. Лет сорок назад внезапной популярностью стала пользоваться ярчайшая звезда южного созвездия Киль — Канопус. Автор участвовал тогда в работе над составлением Общего каталога переменных звезд, и в нашей комнате хранилась картотека, содержащая сведения о многих тысячах звезд. И долгое время почти каждый месяц у нас появлялись незнакомые серьезные люди с вопросом об одной и той же звезде. Стало понятно, что уж в этой-то области в нашей стране не только конкуренция, но и полная секретность... Канопус — вторая по яркости (после Сириуса) звезда нашего неба и расположена она близ полюса эклиптики, так что угол между направлениями на нее и на Солнце всегда близок к 90° , и поэтому ее удобно использовать для ориентировки космических аппаратов любого назначения. Сведения о координатах и блеске в разных диапазонах длин волн для Канопуса, а затем и для тысяч других звезд стали использоваться людьми, очень далекими от астрономии...

Астрономические методы и инструменты используются для определения координат и отождествления искусственных спутников Земли и межпланетных станций, для всевозможных исследований нашей планеты и деятельности на ней человека — на многих спутниках установлены телескопы, направленные вниз. В некотором смысле вполне практическим приложением астрономии можно назвать и поиски астероидов на предмет заблаговременного выявления тех из них, которые могут столкнуться с Землей — в надежде изменить их орбиты.

Но, конечно, не эти полезные занятия вдохновляют астрономов. Как и всех естествоиспытателей, их ведет стремление к исследованию мироздания, внутренняя логика развития науки. Практические приложения являются побочным результатом фундаментальной науки, — но на них ныне основана вся земная технологическая цивилизация, медицина и сельское хозяйство; каждый шаг городского жителя обусловлен далекими последствиями бескорыстного любопытства ученых.

Можно вспомнить, например, что термоядерные реакции появились впервые именно в теоретической астрофизике как возможный источник энергии звезд. Когда Артур Эддингтон в 1920-х гг. говорил о том, что слияние двух протонов и двух нейтронов — превращение водорода в гелий — вполне возможно в недрах звезд и способно дать необходимую энергию, большинство физиков считало, что в звездах для этого слишком холодно. В 1952 г., после взрыва первой водородной бомбы, в осуществимости такого рода реакции никто уже не сомневался. Еще пример — магнитная газодинамика, наука, родившаяся при изучении свойств газовых туманностей и строения Галактики, служит ныне при проектировании генераторов электроэнергии и плазменных ловушек, в которых управляемая термоядерная реакция будет когда-нибудь получена и на Земле.

Со времен Галилея и Ньютона и до начала XIX века астрономия была фактически лидером естествознания, ибо основные физические принципы и математические методы развивались именно при астрономических исследованиях. Затем астрономия все чаще стала использовать результаты физической теории и заимствовать у физики и методы исследования; великие перемены, начавшиеся в физике в конце XIX века, оттеснили астрономию на задний план, в результате чего стало господствовать убеждение, что астрономия призвана лишь давать сведения для проверки физических теорий, вроде теории относительности и ядерных реакций.

Ситуация начинает изменяться в последние годы. Грандиозные успехи физики элементарных частиц, создание единой теории электрослабых взаимодействий и движение к созданию единой теории физических взаимодействий привели к пониманию того факта, что дальнейший прогресс возможен лишь в том случае, если иметь дело с материей, находящейся в экстремальных условиях, которые мы не находим на Земле и никогда не сможем воспроизвести.

Это не только сведения о поведении вещества при сверхвысоких плотностях и температурах, при сверхсильных гравитационных и магнитных полях, об элементарных частицах сверхвысокой энергии, которые

может дать только астрономия. Астрономы сталкиваются с явлениями, для которых на Земле не хватает ни места, ни времени.

Это уже было однажды продемонстрировано теорией относительности в соединении с наблюдательными данными о расширении Вселенной. Ныне выясняется, что непосредственно наблюдаемое в звездах и газовых туманностях вещество составляет не более 5 % полной массы Вселенной, что около 30 % вещества (неизвестно, какого!) мы чувствуем лишь по создаваемому им тяготению — и что 65 % массы Вселенной обусловлено плотностью энергии вакуума. Это следствие довольно простых астрономических наблюдений, о которых мы подробно расскажем. И это открывает дорогу действительно новой физике. Более того, экстраполяция данных астрономии в соединении с физической теорией привела современную космологию к выводу о том, что наша Вселенная — лишь одна из бесчисленных вселенных, возникающих и расширяющихся из вечного физического вакуума. Добавим к этому, что уже существует теория, объясняющая, как можно создать вселенную в лаборатории, и вполне закономерен вопрос о том, не появилась ли таким образом и наша Вселенная. Это, конечно, новая революция в мировоззрении, и это вновь заслуга астрономии. Но революций в науке не бывает, новая теория включает старую как предельный случай; горизонт все отодвигается по мере нашего продвижения вперед, но пройденная территория — наша...

* * *

«Астрономия — счастливая наука, — сказал Араго, — она не нуждается в украшениях». Но великолепны не только небесные объекты, изучаемые нашей наукой; прекрасна и она сама. Астрономия необъятна, как необъятна изучаемая ею Вселенная; все способы исследования, все подходы и приемы, существующие в естественных науках, находят свое применение в той или иной отрасли астрономии. В этой универсальности с нашей наукой не может поспорить никакая другая. В ней находят свое место и высшие абстракции математики, и тонкость физического эксперимента, и вдумчивое сопоставление и анализ данных, и, наконец, просто их накопление и классификация.

Вместе с тем это наука об эволюционирующем мире, и в этом отношении астрономия похожа на палеонтологию или историческую геологию. В физике результаты старых опытов сохраняют лишь «историческое» значение, в астрономии же ценность старых наблюдений растет с каждым годом. Жизнь поколения — лишь краткий миг в истории звезд. Вся история человечества от австралопитеков — сотая доля одного оборота Солнца вокруг центра Галактики, десятитысячная доля жизни его как звезды. Сколь велика смелость людей, говорящих, — и с основанием, — что мы понимаем теперь эволюцию звезд; много ли найдется в истории науки более гордых утверждений! Но вспомним последние слова Лапласа: «То, что мы знаем, столь ничтожно сравнительно с тем, чего мы еще не узнали».

ИСТОРИЯ ЗВЕЗДНЫХ КАРТ

*О, пыль миров! О рой священных пчел!
Я исследил, измерил, взвесил, счел,
Дал имена, составил карты, сметы...*

Максимилиан Волошин

Наука — саморегулирующаяся система. ...Единственный вред, который приносит научное жульничество, состоит в том, что ученые теряют время на изобличение мошенников.

Чарльз Сноу

Нынешние околоастрономические жулики, и в частности обосновавшиеся в несчастном Московском планетарии, давно не функционирующем по назначению, активно торгуют звездами. Любому желающему они могут продать бумажку, на которой написано, что такая-то звезда, по их мнению, отныне носит имя такого-то покупателя. Но они опоздали. Яркие звезды несут свои имена уже около 20 веков, а некоторые и существенно дольше. Подобно титулованной знати, у каждой из них много имен — и персональное, и в созвездии, и в десятке-другом звездных каталогах, хотя это уже просто номера. Так, Сириус — это Альфа Большого Пса, 9 Большого Пса, BS 2491, HD 48915, Hip 32349, CSV 17173... Самые же слабые объекты отождествляются просто по своим координатам и блеску — эти параметры уже измерены для 1 045 913 669 звездообразных объектов до 21^mV ; большинство из них — звезды нашей Галактики, но много и компактных далеких галактик.

Однако собственные имена, а не просто номера в каталогах, имеют всего лишь 275 звезд, сколько бы ни старались звездопродавцы. Подавляющее большинство из них арабского происхождения, и, как правило, они происходят от положения звезды в фигуре созвездия, как оно описано в древнейшем звездном каталоге Гиппарха—Птолемея. Первое из дошедших до нас описаний созвездий дано в поэме Арата «Феномены», созданной около 275 г. до н. э. Этот греческий поэт опирался на труды

Евдокса, который в IV в. до н. э. перенес в Грецию древнеегипетские знания о звездном небе. Несколько созвездий (среди них Орион и Большая Медведица) упоминает еще Гомер в «Одиссее».

По перечню 48 созвездий, содержащихся в поэме Арата, можно определить время и даже место, где она создавалась. Положения созвездий на небесной сфере не охватывают зону с радиусом около 36° вокруг Южного полюса, и тем самым указывается примерная широта места: из-за горизонта не поднимаются звезды со склонением в -54° и более южным, если широта равна 36° . В центре этой свободной от созвездий зоны должен находиться Южный полюс, и, учитывая прецессию, можно определить время наблюдений — примерно X в. до н. э. Время и широта указывают на Вавилонию и шумеров как создателей списка созвездий Арата. Это не противоречит прямым историческим свидетельствам, хотя последние утверждают, что вавилонские созвездия не были строго идентичны описываемым Аратом.

Зодиакальные созвездия у Арата начинаются с Овна: в двух других местах поэмы Рак и Козерог указаны как созвездия солнцестояний, а Овен и Весы — равноденствий. Согласно Плинию Старшему, названия для некоторых созвездий (в том числе Овна и Стрельца) были введены Клеостратом из Тенедоса около 520 г. до н. э. Обычно считается, что в «Феноменах» Арата описывается 47 созвездий, но несколько астеризмов, рассматривавшихся позднее как части созвездий, фигурируют у Арата на тех же правах, что и все другие созвездия; среди них Плеяды, Гиады, Лук (часть Стрельца). Правда, Змея не отделена от Змееносца, Весы рассматриваются как часть Скорпиона, который держит их в клешнях.

Для шести звезд Арат указывает собственные имена: Сириус, Арктур, Капелла, Процион, Спика и Винденмиатрикс (что по-русски означает Виноделательница). Последняя в современном обозначении — Гамма Девы, звезда третьей величины. Кажется удивительным, что при этом остались без названия многие десятки более ярких звезд, в том числе и первой величины. Однако это можно рассматривать как косвенное указание на время и место зарождения астрономии: Гамма Девы — самая северная звезда созвездия, и появление ее на утреннем небе перед восходом Солнца означало наступление сезона сбора винограда. Напомним, что древним с их путаными и часто корректировавшимися календарями было необходимо независимо от колебаний погоды предвидеть наступление того или иного сезона, и положение звезд на небе было единственным индикатором сезона. Так и Сириус, Альфа Большого Пса (римляне называли его Каникулой, Собачкой), который впервые в году появляется на утреннем небе перед восходом Солнца в разгар лета, дал название предстоящему жаркому сезону, в который работы прерывались и начинались каникулы. (Разумеется, это Солнце отходит от Сириуса на небосклоне достаточно далеко к востоку именно в этот сезон, что, конечно же, обусловлено годичным вращением Земли вокруг Солнца...)

Древнейший известный нам звездный каталог включен в VII и VIII книги знаменитого творения Клавдия Птолемея (ок. 90 — ок. 160 г. н. э.).

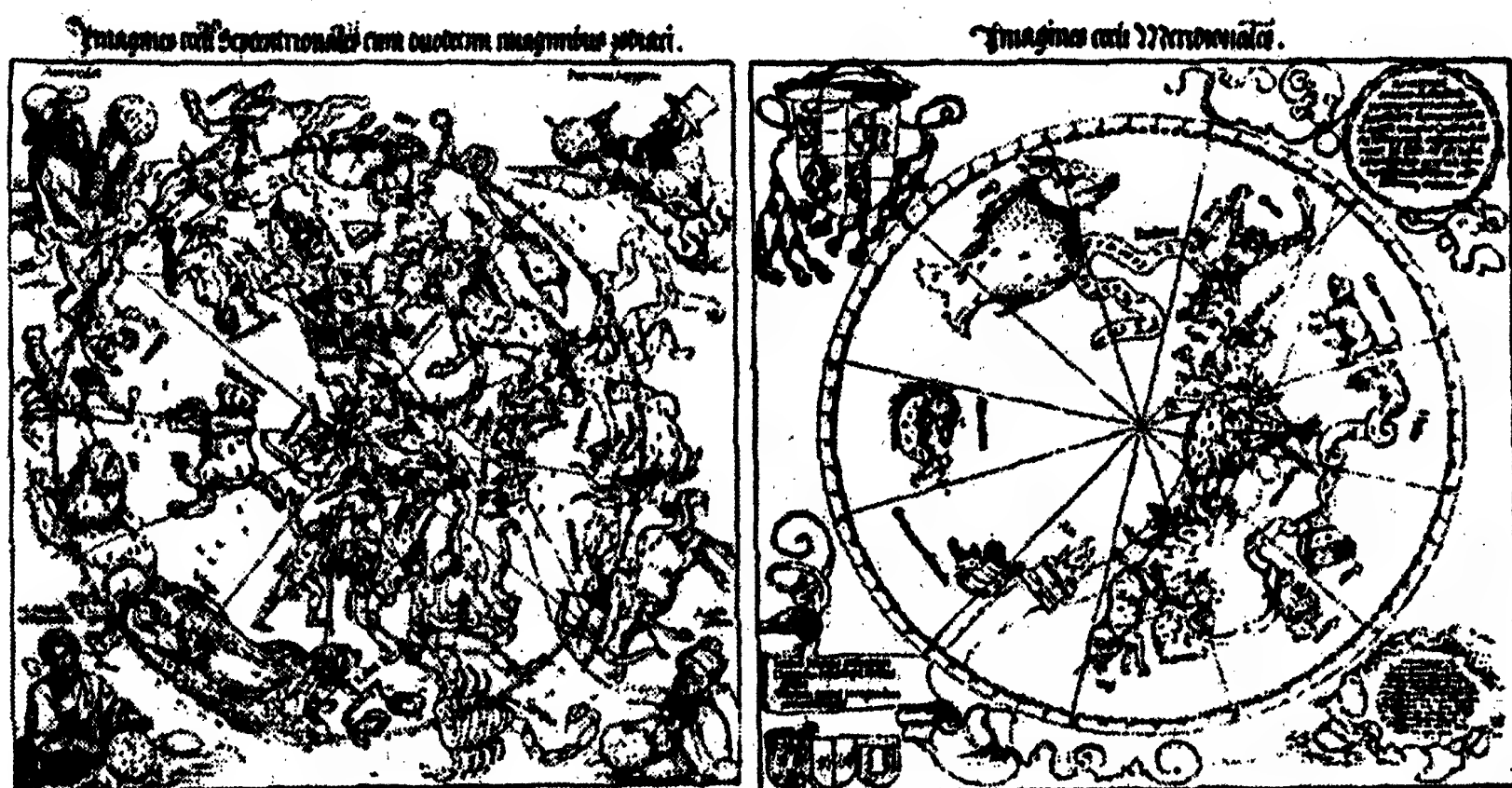


Рис. 1.1. Карты звездного неба, изготовленные в 1515 г. по рисункам А. Дюрера, опиравшегося на описания созвездий в «Альмагесте»: а) северные и зодиакальные созвездия, б) южные созвездия

Оно известно уже много веков под названием «Альмагест» — так арабы перевели греческое название «Мегале синтаксис» («Великое построение»). В средневековой Европе «Альмагест» стал известен через арабов, при владычестве которых в Испании Толедо и Кордоба были крупнейшими центрами культуры. Отсюда и арабские имена звезд.

«Альмагест» содержит основные знания античного мира по астрономии. В него, помимо звездного каталога, включено более сотни астрономических наблюдений, начиная с проведенных в Вавилоне с VI в. до н. э. и по 141 г. Долготы звезд приведены, как пишет Птолемей, на начало царствования Антонина Пия, т. е. на июль 137 г.

В каталоге 1 028 объектов. Три из них — звездные скопления (Ясли, Хи Персея, Омега Кентавра) и три звезды встречаются дважды, так как входят в состав каждого из двух граничащих между собой скоплений, так что в каталог входят 1 022 звезды. Используя данные каталога, Птолемей построил систему небесных координат, которая позволила ему определять положения планет. В книгах IX, X и XI «Альмагеста» дана теория движения планет по деферентам и эпициклам вокруг Земли — знаменитая «система Мира» Птолемея.

Заметим, в порядке отступления, что хотя такая картина Мира позволяла предсказывать явления (положения планет, затмения) — это все же было даже не нулевое приближение к истине, а аналоговая модель, что-то вроде мысленной механической вычислительной машины. В этом смысле систему Мира Птолемея можно назвать пранаучной. Исходным приближением к истине стала система Коперника, которая хотя бы в ближайших окрестностях Земли и Солнца описывала, пусть сначала неточно, истинное устройство Мира. По мнению автора, система знаний о мире

и способов их добывания становится наукой с тех пор, когда вступает в действие принцип соответствия, — когда новое знание не отменяет старое (как это произошло с системой Птолемея), а ограничивает сферу его истинности (как это случилось с механикой Ньютона), оставляя ему место одного из камешков в непрерывно создаваемой мозаике великой картины Мироздания. Замена же элемента мозаики возможна лишь, если он отражал ненаучное знание. При таком определении науки революций в ней быть не может: Коперник и Ньютон знаменовали своей деятельностью не революцию в науке, а ее рождение.

Звездное небо в каталоге Птолемея поделено на 48 созвездий (рис. 1.1); все из них «дожили» до нашего времени, хотя гигантское созвездие Корабль Аргонавтов в наше время разделяется на Киль, Корму, Компас и Паруса; к 22 созвездиям в его каталоге примыкают группы звезд, которые не вписываются в конфигурации соответствующих созвездий. Даже Арктуру не нашлось места в той последовательности звезд, какой представлялась древним фигура Волопаса. Птолемей несомненно следовал древней традиции и специально оговаривал случаи, когда он ее нарушал ради более точного, как ему представлялось, описания соответствующей фигуры созвездия. Звезды отождествлялись по их местам в этих фигурах и, конечно, по координатам. Привычные нам греческие буквы и цифры появились гораздо позднее.

Для наблюдений Птолемей использовал армиллу, прибор из нескольких вложенных друг в друга кругов, один из которых совмещался с эклиптической, а визирь на других кругах наводился на звезды. С помощью этого инструмента Птолемей, как он пишет, «наблюдал так много звезд, сколько мог видеть до шестой величины». Несмотря на эти его слова, около двух веков продолжается спор о том, определял ли координаты звезд в каталоге «Альмагеста» сам Птолемей, или он взял их у Гиппарха и лишь исправил долготы за прецессию.

Напомним, что широты и долготы звезд аналогичны земным координатам и отсчитываются соответственно от эклиптики (большого круга небесной сферы, по которому движется Солнце) и от той точки ее пересечения с небесным экватором (проекцией земного экватора на небесную сферу), в которой Солнце находится, переходя из Южного полушария неба в Северное — точки весеннего равноденствия. От этой же точки отсчитываются прямые восхождения звезд в экваториальной системе координат, где аналогом широты служат угловые расстояния звезд от небесного экватора. Полюс Мира, точка пересечения земной оси с небесной сферой, описывает на последней окружность вокруг полюса эклиптики с радиусом 23° и периодом в 26 000 лет. Это движение земной оси, прецессия, возникает благодаря несферической форме Земли и воздействию притяжений Луны и Солнца. Вследствие прецессии точка весеннего равноденствия движется по эклиптике навстречу видимому годичному движению Солнца, так что долготы звезд возрастают на 1° за 72 года. Изменяются, и сложным образом, обе экваториальные координаты, и лишь широты звезд остаются (почти) неизменными.

И вот если по современным координатам и постоянной прецессии вычислить эпоху наблюдения каталога Птолемея, получится не 137 г., а 62 г. Это несоответствие было замечено еще ас-Суфи (903–988), который без каких-либо комментариев пишет, что звезды каталога наблюдал Менелай, живший во второй половине I века н. э. В конце XVIII в. возобладала точка зрения, высказанная еще Тихо Браге: Птолемей взял координаты Гиппарха и перевел их на эпоху 137 г. с ошибочным значением прецессии (1° за 100 лет), восходящим тоже к Гиппарху. Поэтому поправка долгот у него получилась равной $2^\circ 40'$, а истинное значение должно составлять $3^\circ 40'$. Ошибка долгот в 1° и приводит к тому, что вычисленная по ним эпоха каталога — 62 г. (рис. 1.2).

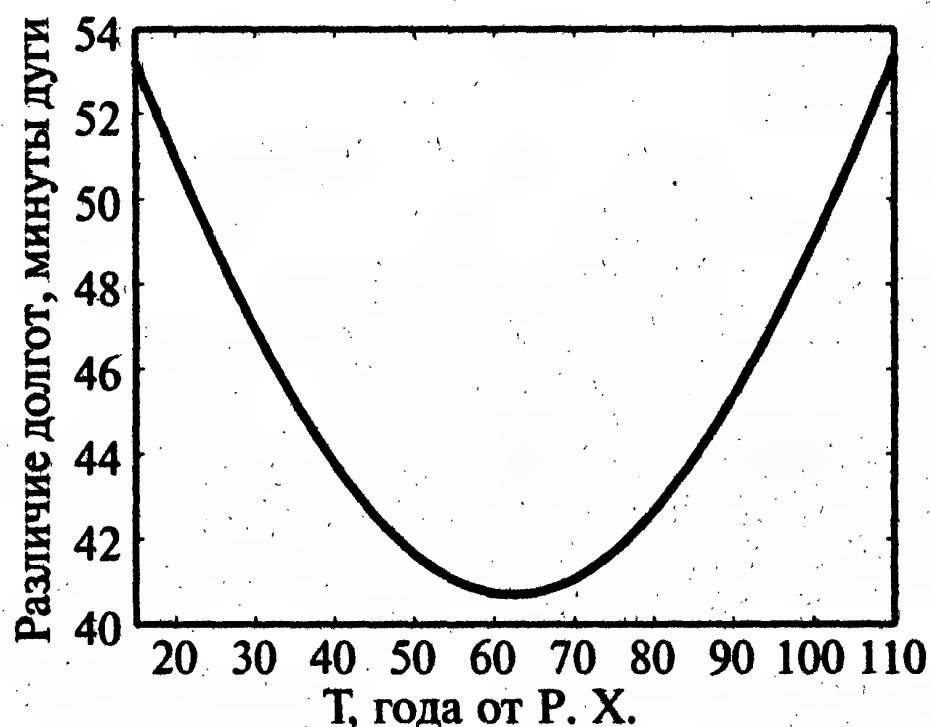


Рис. 1.2. Датировка каталога «Альмагеста» по прецессии и долготе звезд. Наименьшее различие между долготами в каталоге и точными их значениями, зависящими от прецессии, указывает эпоху, на которую наблюдатель каталога перевычислил определенные им долготы

Однако 200 лет назад за Птолемея вступился Лаплас: он заметил, что ошибка в 1° вполне могла возникнуть из-за такой же ошибки в теоретической долготе Солнца и вовсе не доказывает, что Птолемей приписал себе наблюдения Гиппарха. В единственном подробно описанном в «Альмагесте» примере определения координат звезд (для Регула) фигурирует действительно теоретическая долгота Солнца (которая, через Луну, служила нуль-пунктом долгот); она была меньше истинной примерно на $1,1^\circ$ (из-за неточной у Птолемея продолжительности года). Остается, однако, неясным, как Птолемей мог оставить без внимания такое большое расхождение долгот Солнца.

Проблема в течение веков оставалась нерешенной. Имеются убедительные данные, что многие координаты действительно взяты у Гиппарха, наблюдения которого в оригинале до нас не дошли; однако отрывки из них найдены не так давно в древнем астрологическом трактате. Оказалось, что большие случайные ошибки одинаковы и в наблюдениях Гиппарха, и в каталоге «Альмагеста». Вполне возможно, что большую часть координат Птолемей взял у Гиппарха, не считая нужным специально это оговаривать, но наблюдать сам он, бесспорно, умел. В «Альмагесте» содержится список склонений 18 звезд, наблюдавшихся астрономами древности, в том числе и самим Птолемеем. Их можно независимо датировать по прецессии, и результаты подтверждают известные из истории даты жизни Тимохариса, Аристилла, Гиппарха и самого Птолемея, для наблюдений которого получается эпоха 130 г. н. э.

* * *

Независимый от долгот и прецессии метод датировки каталога был предложен в 1982 г. Ю. А. Завенягиным, московским физиком и любителем астрономии, ныне покойным. Он предложил использовать собственные движения звезд, их очень медленные перемещения по небесной сфере, отражающие их пространственные скорости и расстояния (а для близких звезд — также и движение Солнца в пространстве). Из современных координат и собственных движений звезд можно рассчитать их координаты на любую эпоху и найти время, когда они будут максимально близки к приводимым в исследуемом каталоге. Предложенный Ю. А. Завенягиным метод не только позволил разоблачить бредовую «новую хронологию», но, в конечном счете, прийти к выводу, что координаты большинства звезд в каталоге «Альмагеста» были определены в эпоху Гиппарха.

Многовековая проблема датировки этого каталога приобрела неожиданную остроту лет 20 назад, когда математик А. Т. Фоменко пришел к выводу, что каталог «Альмагеста» надо датировать X веком нашей эры. Это послужило важнейшим обоснованием его вывода о том, что вся хронология неверна и всю историю до XIII века надо переписать, чем он занимается и поныне. Однако и при самых крайних предположениях долготы не позволяют датировать каталог вне интервала от $-II$ до $+II$ вв. Избежать этого вывода можно, лишь предположив, что во всех дошедших до нас 33 рукописях «Альмагеста» долготы зачем-то изменены одинаковым образом и именно так, чтобы соответствовать 62 г., т. е. на 14° , если каталог наблюдался в X в. Однако почему же 62-й год, если в тексте четко написано, что долготы приведены к началу царствования Антонина Пия, т. е. к июлю 137 г.?!

Вся система отсчета годов, используемая в «Альмагесте», неразрывно связана с датами древней истории; поэтому изменить его датировку абсолютно необходимо для фальсификаторов истории. Никакого объяснения значений долгот каталога, означающих его датировку около 62 г., А. Т. Фоменко не дает. Если каталог наблюдался позднее и кто-то зачем-то перевычислил долготы на древнюю эпоху, почему же они приведены на 62 г., а не на «заявленный» мифическими злоумышленниками 137 г.? Текст всего «Альмагеста» неразрывно связан с содержащимся в нем звездном каталогом, на котором основаны и многочисленные наблюдения планет, и, значит, вся «система мира» Птолемея.

Поскольку долготы сразу отменяют «новую хронологию», А. Т. Фоменко и его главный сообщник Г. В. Носовский закрывают на них глаза и заявляют, что при датировке каталога они принципиально основываются на данных, которые невозможно было перевычислить на античную эпоху измышленными ими средневековым фальсификаторам истории. Они игнорируют датировку по прецессии и долготам и пытаются опереться на собственные движения звезд, которые стали известны лишь в XVIII веке, а с достаточной точностью — лишь к концу XIX века.

Метод датировки каталога, использованный А. Т. Фоменко, состоит в прямом сравнении текущих широт звезд, изменяющихся со временем из-за собственного их движения, с приведенными в каталоге. Время их наибольшей близости должно и быть эпохой наблюдения звезд каталога. Однако ошибки координат в нем велики, и отбирая немногие звезды, можно получить какое угодно значение для времени их определения (эпохи каталога). После странных и внутренне противоречивых рассуждений Фоменко и Носовский оставляют для датировки каталога всего лишь 8 звезд, причем из них собственным движением, достаточно большим для того, чтобы заметно изменить широту за несколько сотен лет, обладает один лишь Арктур. Ошибка его широты в каталоге «Альмагеста» велика, и интерпретируя ее как результат собственного движения, они и получают X век.

Можно предположить, что специфический отбор 8 звезд диктовался необходимостью оставить из быстрых звезд именно один лишь Арктур. Недавняя работа московского физика М. Л. Городецкого подтверждает это предположение. В этой работе исчерпывающим образом, шаг за шагом, прослежены все этапы операции, приведшей к X веку. Показано, что игнорируются не только результаты многочисленных исследований текста «Альмагеста», но и элементарная логика, одни выводы противоречат другим. В частности, М. Л. Городецкий отмечает, что по некоторым критериям, по которым творцы «новой хронологии» отбирали якобы наиболее точно измеренные звезды, не проходит и сам Арктур. Нет ни малейших оснований полагать, что отобранные А. Т. Фоменко звезды измерены в каталоге «Альмагеста» наиболее точно. Подозрение, что сначала Фоменко и его сообщники нашли звезды, широты которых дают поздние даты, а затем придумали обоснования для исключения всех остальных, можно считать доказанным.

Объективные методы определения эпохи каталога «Альмагеста» по собственным движениям подтверждают его древность. Понятно, что корректный способ определения эпохи каталога по собственным движе-

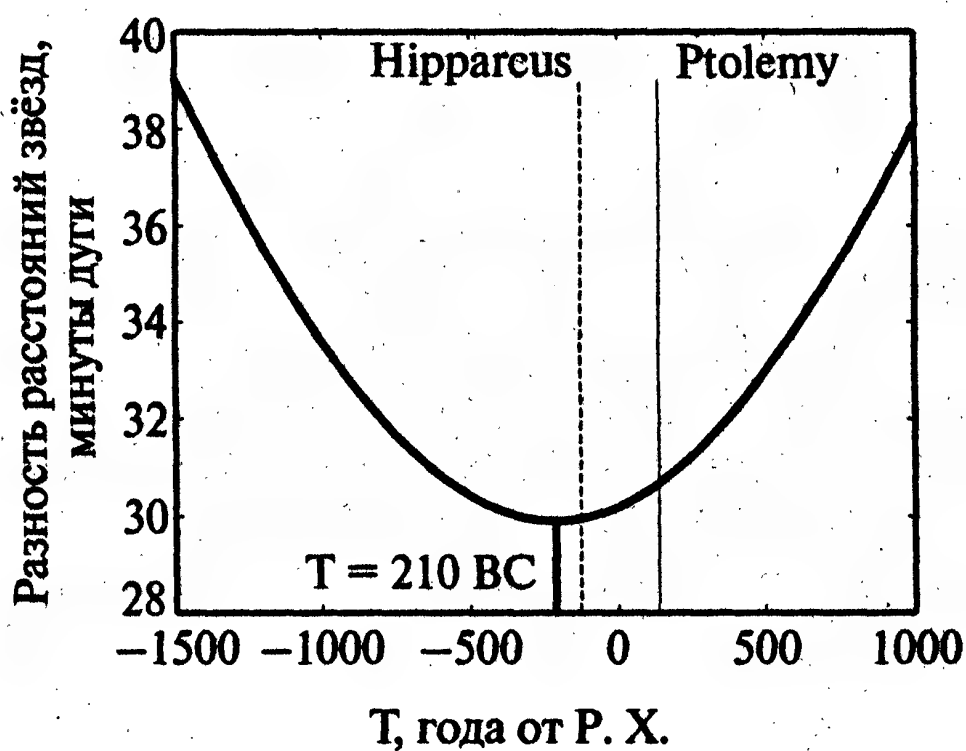


Рис. 1.3. Датировка каталога «Альмагеста» по взаимным угловым расстояниям 40 звезд с наибольшими собственными движениями. График изображает зависимость от времени разности текущих расстояний этих звезд и определяемых координатами «Альмагеста». Случайные ошибки координат в «Альмагесте» сильно различаются в разных областях неба, но близки в небольших участках, поэтому рис. 1.4 дает более точный результат

ниям звезд состоит в использовании звезд с наибольшими скоростями их перемещения по небесной сфере. Повторяя в принципе методику А. Т. Фоменко, но используя широты 14 самых быстрых звезд «Альмагеста», М. Л. Городецкий нашел эпоху $T = -110 \text{ год} \pm 280 \text{ лет}$. Это эпоха, близкая к Гиппарху, но время Птолемея еще в пределах ошибки. Она становится несколько меньше ($\pm 220 \text{ лет}$), если взять все звезды каталога, а при другом учете ошибок получается $-130 \text{ год} \pm 180 \text{ лет}$.

Этот результат близок к полученному ранее А. К. Дамбисом и Ю. Н. Ефремовым ($-80 \text{ год} \pm 150 \text{ лет}$ по широтам и $-90 \text{ год} \pm 120 \text{ лет}$ по комбинации широт и долгот) совсем другим методом (рис. 1.3 и 1.4). Мы основывались на изменении положения быстрых звезд относительно их соседей, что исключает систематические ошибки координат, данных в «Альмагесте»; они велики, но практически одинаковы в небольших участках неба. Авторство Птолемея исключается. Он лишь пересчитал на свою эпоху долготы, определенные во времена Гиппарха. Указанные в каталоге долготы соответствуют 62, а не 137 г., именно потому, что он перевел долготы Гиппарха на свою эпоху с неверным, заниженным значением скорости их изменения. Скорее всего, Птолемей действительно пронаблюдавал сам все звезды каталога, но координаты — по крайней мере для большинства из них — привел гиппарховские.

Это важный результат для истории астрономии — большинство специалистов склонялось к авторству Птолемея. Для новой же лже-хронологии это абсолютный конец. Оспорить этот результат невоз-

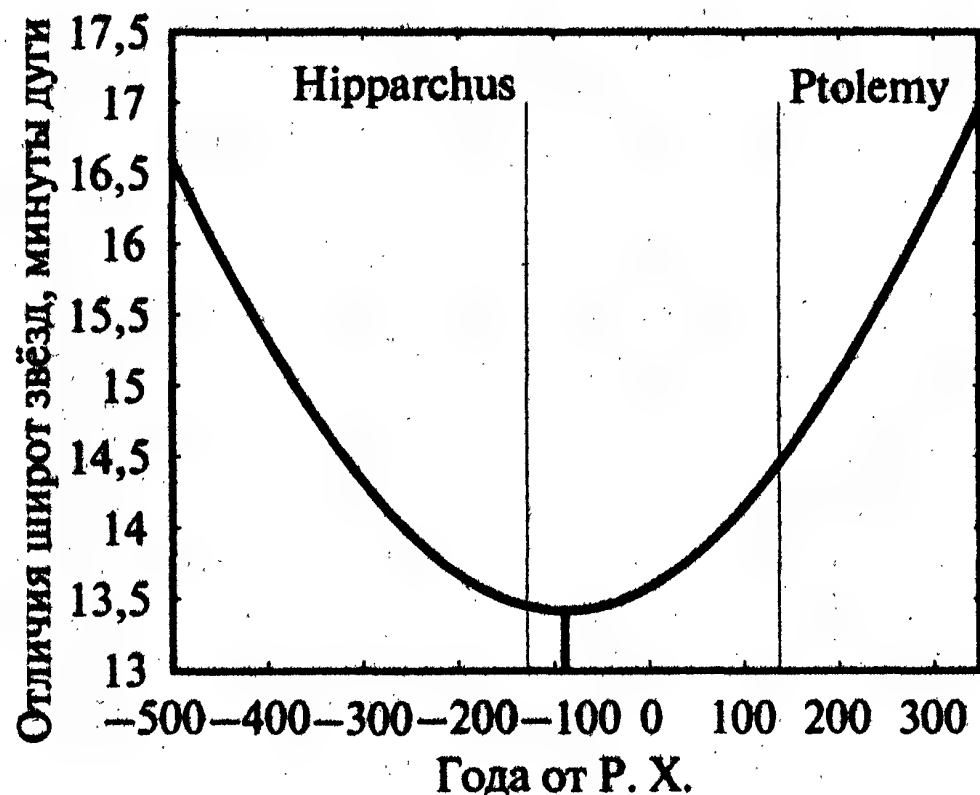


Рис. 1.4. Зависимость от времени разности между отличиями широт 40 самых быстрых звезд от приведенных в «Альмагесте» и средней ошибкой широты для 6 ближайших (для каждой из этих 40) звезд. Минимальное значение соответствует эпохе наблюдения каталога. Графики 1.2, 1.3 и 1.4 вычислены А. К. Дамбисом

можно. Он устойчив к изменению числа используемых звезд. У А. Т. Фоменко есть аргументы (впрочем, неверные), обосновывающие исключение лишь одной звезды, правда самой быстрой, α^2 (омикрон) Эридана. Ну что ж, после ее исключения получается эпоха $-44 \text{ год} \pm 147 \text{ лет}$. Можно исключить даже быстрее десяти звезд, эпоха будет $-246 \text{ год} \pm 225 \text{ лет}$! Псевдопроблема «новой хронологии» окончательно закрывается, причем строго в рамках базовых предположений ее творцов... Античная датировка каталога «Альмаге-

ста» недавно подтверждена и в двух работах американских ученых, также использовавших собственные движения звезд.

Категорически противоречат этой лже-хронологии и все другие астрономические данные. «Подтверждающие» ее другие результаты А. Т. Фоменко и его сообщников (даты соединений планет со звездами, затмений и т. д.) получены путем подтасовки исходных данных или являются прямым обманом. Это же относится и ко всем их «историческим» соображениям. Подробности можно узнать, например, из сборника «Астрономия против „новой хронологии“» (М.: Русская панорама, 2001) и из трех сборников «Антифоменковская мозаика» (там же), последний из которых вышел в 2002 г. Известно, однако, что человека, одержимого сверхценной идеей, невозможно убедить в ее ошибочности...

Парадоксальным образом древний научный трактат поднимает и ныне острые проблемы научной этики. Наиболее яростные критики Птолемея в течение многих веков обвиняют его в плагиате, а теперь академик Фоменко уличен в подтасовке исходных данных при попытке передатировать «Альмагест». И что же — он по-прежнему заседает в Академии наук и воспитывает студентов МГУ...

* * *

На протяжении тринадцати веков после Птолемея не было составлено ни одного звездного каталога, основанного на оригинальных наблюдениях. Шел век за веком, свыше дюжины каталогов (преимущественно арабских) появилось на свет, но все они использовали координаты каталога «Альмагеста» с соответствующим пересчетом долгот из-за прецессии; таков был и каталог самого Коперника (эпоха 1520 г.). Это тем более удивительно, что уже в IX в. астрономия на арабском Востоке превзошла достижения Птолемея; были определены координаты небольшого количества звезд и обнаружена ошибка в принятом значении прецессии. Точнее говоря, получив величину прецессии в 1° за 70 лет (а не за 100), расхивавшуюся с результатом Птолемея, арабские астрономы не посмели подумать, что он ошибся; было введено понятие «трепидации», из-за которой постоянная прецессии якобы изменяется с периодом в 4 тыс. лет. О ней рассуждал и Коперник. Но ведь и сам Птолемей больше верил Гиппарху, чем себе!

Слепое преклонение перед авторитетами довлело над зародившейся наукой. Очевидно, это и было главной причиной того, что не делались попытки самостоятельно создать систему звездных координат, хотя и инструменты, и навыки наблюдений — все позволяло сделать это. Так, «Каталог неподвижных звезд» ас-Суфи представляет собой каталог Птолемея, к долготам которого прибавлено $12^\circ 42'$ для перевода на эпоху 964 г., однако звездные величины и конфигурации созвездий оригинальные, приведены также многочисленные измерения взаимных расстояний звезд. Существовали и трактаты, описывающие инструменты, вроде птолемеевского, пригодные для измерения координат. Было изобретено устройство (типа нониуса), позволяющее точно отсчитывать доли

делений координатных кругов. Однако новый звездный каталог появился лишь в обсерватории Улугбека (1394–1449).

В отличие от каталога «Альмагеста», авторство Улугбека бесспорно. Правда, вполне возможно, что личный вклад самого Улугбека непосредственно в определения координат был невелик; нет никаких данных и о методике наблюдений. Ясно лишь, что она мало отличалась от описанной в «Альмагесте»; гигантский квадрант, углубленный в землю и поражающий ныне воображение экскурсантов, для определений позиций звезд не использовался. Каталог Улугбека (в нем 1018 звезд) вполне повторяет по своему построению звездный каталог «Альмагеста». Координаты 27 слишком южных звезд, как пишет Улугбек, взяты у Птолемея. Возможно, что и несколько десятков других звезд не наблюдались, а их координаты — пересчитанные птолемеевские.

Точность каталога Улугбека примерно такая же, как у Птолемея, около 17–20'. Его созвездия те же, что и у ас-Суфи, и очень близки к птолемеевским. В Европе каталог Улугбека стал известен лишь в середине XVII в., а в 1673 г. он вошел в труд Яна Гевелия “*Prodromus Astronomie*”, включивший и его собственный звездный атлас. Описания конфигурации звезд в созвездиях, которые Улугбек взял у ас-Суфи, были переведены на латынь, но для многих ярких звезд были оставлены на арабском языке. Звучные таинственные названия, которые фантасты любят использовать как имена звездолетов, означают сугубо прозаические предметы. Хорошо, если это Плечо гиганта (Бетельгейзе в Орионе). Но есть и Брюхо (Мерак) — Бета Большой Медведицы, Начало хвоста (Мегрец) — Дельта Большой Медведицы и т. д. Из 275 звезд, имеющих собственные имена, 80 % носят названия, обозначающие всего-навсего их положение в созвездии на арабском языке. Правда, несколько звезд сохранили и арабские названия другого рода, приведенные ас-Суфи. Так, Бета Водолея носит имя Садалсууд, что означает «счастье счастья» — пребывание Луны в Водолее считалось особо благоприятным.

Каталог Улугбека остался высшим достижением арабской астрономии. После него эстафета знаний о небе возвращается в Европу. Правда, известна попытка через три века возвестить о создании нового звездного каталога (Зидж Мухаммеда Шаха). Его автор Джей Сингх Савай заявил, что для этого он ежедневно наблюдал расположение звезд. Однако его координаты отличаются от улугбековских лишь тем, что к долготам добавлены 408 лет — что дает 1727 г. для эпохи каталога. Этот астроном счел, очевидно, что уж если Птолемей воспользовался данными Гиппарха, то и ему не грех приписать себе работу Улугбека и его сотрудников.

В знаменитом труде Коперника «Об обращениях небесных сфер» помещен все тот же каталог Гиппарха—Птолемея, хотя начало отсчета долгот Коперник поместил не в точку весеннего равноденствия, а на звезду Гамма Овна, чтобы навсегда избавиться от проблемы учета прецессии... Но этот каталог не успел войти в употребление. Его сменил каталог Тихо Браге. Началась новая эпоха в измерениях положений звезд.



Рис. 1.5. Карта южного неба из атласа Гевелия. Свободное пространство близ Южного полюса заполнено ныне экзотическими животными. Из птолемеевского Кентавра выделен в отдельное созвездие Крест, под ним — созвездие Дуб Карла, упраздненное Лакайлем

Тихо Браге (1546–1601) с детства отличала любовь к астрономии. Она переросла в страсть после того, как 17-летний будущий ученый украдкой наблюдал соединения Юпитера и Сатурна (гувернер не разрешал этого, поскольку юноше надлежало учиться грамматике) и обнаружил, что планетные таблицы, основанные на трудах Птолемея и Коперника, содержат огромные ошибки. Явление Новой Кассиопеи 1572 г. побудило Тихо забросить занятия химией (впрочем, не полностью, ибо, как он писал в конце жизни, «участвующие в превращениях вещества обладают известным сходством с небесными телами и оказываемыми ими влияниями, по каковой причине я обычно называю эту науку (алхимию) земной Астрономией»). В течение 20 лет он занимался определением эквато-

риальных координат звезд и достиг точности в $1'-2'$, а для опорных звезд и еще лучшей. Он определил также и точное значение постоянной прецессии 1° за 71,5 года, что не удалось и Копернику, который не смог расстаться с трепидацией, введенной, как уже говорилось, арабскими астрономами. Тихо нашел также и медленное изменение наклона эклиптики. Каталог Тихо включает всего координаты 1 005 звезд для эпохи 1600 г. В полном виде он был опубликован в 1627 г. его учеником И. Кеплером. Именно точность наблюдений Тихо (который измерил и много положений планет) позволила Кеплеру обнаружить законы обращения планет вокруг Солнца.

Следующий звездный каталог составил Ян Гевелий (1611–1687). Реальная его точность такая же, как у Тихо, хотя Гевелий указывает и секунды. Упорный отказ применить телескоп для наведения на звезды подвел Гевелия. Правда, он все же включил в свой каталог результаты измерений положений 350 южных звезд, проведенных в 1676 г. Галлеем на острове Святой Елены с использованием оптического визира (рис. 1.5).

Заслуга создания первого телескопического звездного каталога принадлежит Джон Флемстиду (1646–1719). Его наблюдения начались с 1675 г. на Гринвичской обсерватории, первым директором которой он был назначен год спустя. Его каталог, содержащий более 3 тыс. звезд (эпоха 1690 г.), был опубликован в 1725 г. уже после смерти автора. Аберрация света и нутация земной оси еще не были известны, учитывалась лишь средняя рефракция. Но когда последующие исследователи (прежде всего Аргеландер) переработали наблюдения Флемстида, то оказалось, что ошибка его измерений составляла всего $6''-10''$ — т. е. в десятки раз меньше, чем у Гевелия.

Современная эпоха картографирования неба начинается с работ другого королевского астронома, Джеймса Бадделя (1693–1762), который собственно и заложил основы классической позиционной астрометрии. Он обнаружил нутацию и абберацию, разработал метод учета рефракции, и когда Бессель, а затем Леверье переработали наблюдения Бадделя, оказалось, что их ошибка составляет всего лишь около $1''$.

Перепись всех звезд ярче 9-й величины провел немецкий астроном Ф. Аргеландер (1799–1875). Сначала, в 1852–1859 гг., он составил каталог для склонений, превышающих -2° . Точность координат здесь была не особенно высока, около $0,1'$. В настоящее время (вместе с продолжением до $\delta = -23^\circ$) эта работа называется «Боннским обозрением» (BD) и включает 457 857 звезд. В конце XIX в. аргентинские астрономы провели аналогичную работу для южных звезд (от $\delta = -22^\circ$). «Кордобское обозрение» (CoD) насчитывает 613 953 звезды. Номера BD и CoD — непереносимые аксессуары звезд и поныне, наряду с номерами в спектральном каталоге Генри Дрэпера (HD), включающем вместе с дополнением 359 082 звезды до 8-й величины (а иногда и слабее) и составленном усилиями Анни Кеннон в течение полувека работы.

* * *

Но вернемся к созвездиям. Первым решился изменить птолемеевскую систему созвездий известный голландский картограф Герард Меркатор (1512–1594), который в 1551 г. выделил на своем небесном глобусе созвездия Антиноя и Волос Вероники (Птолемей включал соответствующие астеризмы в состав Орла и Льва). Тихо Браге последовал Меркатору, но до наших дней дожило лишь созвездие Волосы Вероники.

Затем пришла очередь южного неба. Но не только из-за путешествий в южное полушарие, а и потому, что некоторая часть области неба, оставленной древними учеными без созвездий (ибо она была под горизонтом), теперь благодаря прецессии стала доступной для наблюдений из Южной Европы. Пионерами здесь стали голландцы. Картограф П. Планциус поручил Питеру Кейзеру, главному штурману одного из кораблей первой торговой экспедиции в Индию (в 1595 г.), провести наблюдения зоны южного неба. Кейзер измерил положения 135 звезд и поделил всю зону на 12 созвездий. Эти созвездия появились на глобусе Планциуса в 1598 г. С 1603 г. они вошли во всеобщее употребление, так как были изображены на звездном атласе Иоганна Байера. Иногда ошибочно утверждают, что он и ввел новые южные созвездия.

Заслуга Байера состоит в том, что он обозначил звезды в созвездиях буквами греческого алфавита (примерно в порядке яркости). Эти обозначения, а также номера Флемстида (для слабых звезд только они и существуют) используются и поныне вместе с именем созвездия (чаще всего его латинским трехбуквенным сокращением). Между прочим, в каталоге Птолемея звезды в созвездиях также пронумерованы (очевидно в том порядке, в каком они наблюдались, чаще всего по возрастающим долготам внутри групп близких звезд), но эти номера почему-то мало использовались.

Все 12 созвездий Кейзера дожили до наших дней. Это Райская Птица, Хамелеон, Золотая Рыба, Журавль, Южный Змей, Индеец, Муха, Павлин, Феникс, Южный Треугольник, Тукан и Летучая Рыба. Утвердивший их Планциус ввел и несколько других, но сохранились только Голубь, Единорог и Жираф. Не очень повезло и Гевелию: из одиннадцати введенных им созвездий лишь Гончие Псы, Ящерица, Малый Лев, Рысь, Щит, Секстант и Лисичка сохранились на современных картах.

Последние пробелы на карте южного неба заполнил Никола Лакайль (1713–1762), который в 1751–1752 гг. успел пронаблюдать на Мысе Доброй Надежды позиции 10 тыс. звезд. Он ввел 14 новых созвездий, среди которых — Столовая Гора (в честь горы близ Кейптауна, на которой он вел свои наблюдения). Все остальные получили названия инструментов, включая Телескоп и Сетку (сеть нитей в окуляре телескопа). Эти имена сохранились и ныне, хотя новые созвездия состоят из слабых звезд — лишь в трех есть звезды 3-й величины. Лакайль разделил древнее созвездие Корабль Аргонавтов на Киль, Корму, Компас и Паруса.

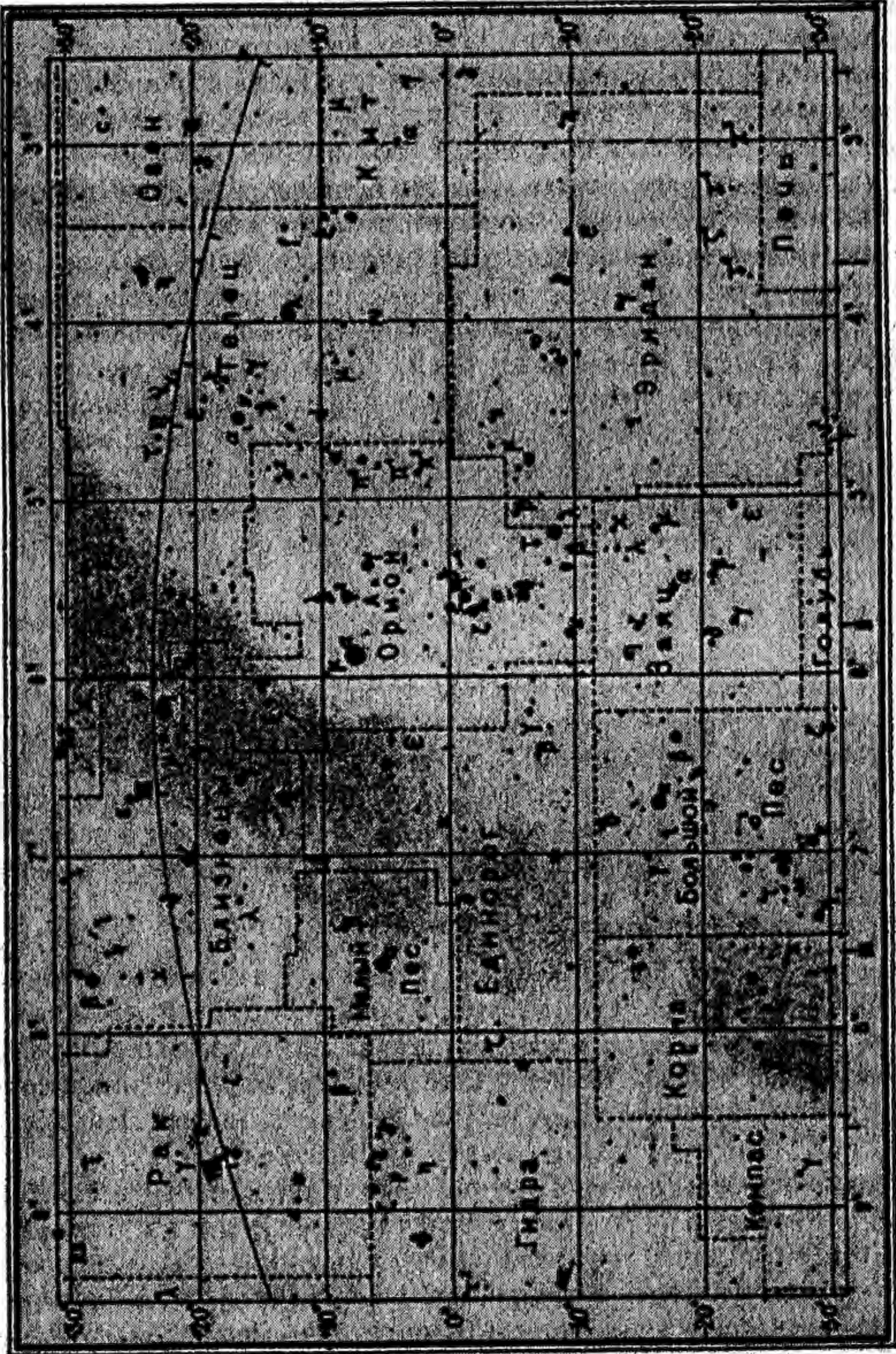


Рис. 1.6. Экваториальные созвездия зимнего неба на современной звездной карте

Больше всего созвездий было в атласе Иоганна Боде (1747–1826). В 1801 г. его атлас содержал свыше ста созвездий, в том числе, например, такое, как Электрическая Машина. И в количестве, и в границах созвездий более века существовала неопределенность, положить конец которой было решено на 1 съезде Международного астрономического союза (1922 г.). Тогда бельгийскому астроному Эжену Дельпорту было поручено разграничить созвездия. Окончательный список 88 созвездий и их причудливых (для сохранения древней традиции), но прямоугольных границ вдоль отрезков небесных параллелей и меридианов (по склонению и прямому восхождению) был опубликован в 1930 г. Многовековая история картографирования звездного неба закончилась (рис. 1.6).

И поныне первый вопрос, который задают астрономы при известии об открытии новой звезды или другого интересного объекта, звучит так: «А в каком созвездии?» Ответ на него сразу дает представление о том, где искать «новичка», насколько благоприятны сейчас условия для его наблюдений. Иногда сказать сразу — в каком созвездии — нелегко. Для объектов на границе созвездий надо знать точные координаты, их надо переводить на эпоху 1900,0, к которой отнесены границы. Наследие Птолемея, Гевелия, Лакайля и голландских мореходов навсегда останется на службе астрономии.

РАССТОЯНИЯ ЗВЕЗД

*Зеленым золотом горит звезда Кентавра
На южных небесах.*

Иван Бунин

*В два-три столетья был преображен
Весь старый мир: разрушен и отстроен.
На миллионы световых годов
Раздвинута темница мирозданья,
Хрустальный свод расколот на куски,
И небеса проветрены от Бога.*

Максимилиан Волошин

Абсолютная шкала расстояний в астрономии в конечном счете опирается на значение расстояния между Землей и Солнцем (астрономическую единицу), и поэтому прежде всего мы кратко расскажем о методах определения этой величины.

Старейшим способом является определение суточного параллакса Солнца и планет. Наблюдая Солнце при восходе и в зените, мы смотрим на него из разных точек пространства; по разности его небесных координат можно определить расстояние. Задача сводится к решению треугольника, у которого известно основание и два угла при нем, очень близких, конечно, к 90° .

Казалось бы, проще всего непосредственное измерение параллактического смещения Солнца на небесной сфере при наблюдении его из разных точек земной поверхности. Очевидно, что оно будет наибольшим при измерении различия в положении Солнца на небе из точек, находящихся на концах одного диаметра, но даже и этот угол очень мал — около $18''$. К тому же из-за большой яркости Солнца и нагревания им инструмента такие измерения очень неточны, и поэтому уже три века назад был предложен другой способ. Он основан на том, что относительные расстояния тел в Солнечной системе, выраженные в долях расстояния Земли от Солнца, хорошо известны. Их можно определить по третьему закону Кеплера, гласящему, что квадраты времен обращения планет

вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей их орбит; при этом единицами измерения являются год и расстояние Земли от Солнца. Орбитальные периоды и взаимное положение планет на орбитах легко определяются из наблюдений, так что всегда можно нарисовать точный план Солнечной системы на любой момент времени. Достаточно определить расстояние между любыми двумя ее телами, чтобы получить масштаб плана, а тем самым и значение астрономической единицы. Измерить же положение планет можно гораздо точнее, чем положение Солнца, потому что это можно делать ночью, относительно «неподвижных» звезд. Этот и другие «астрономические» способы определения расстояния Солнца давно уже стали достоянием истории.

В 1960-х гг. расстояние Венеры (и, следовательно, величину астрономической единицы) начали измерять радиолокационным методом, подобно тому как в годы войны с помощью радиолокаторов научились определять расстояние самолетов. Зная время между посылкой радиоимпульса и получением его отражения от Венеры и скорость света, легко найти расстояние. Измерения, проведенные тогда в СССР, США и Англии, дали расстояние Солнца в 149 600 000 км, чему соответствует значение параллакса $8'',7940$. Эта точность более чем достаточна для нужд астрономии, но и ее нужно было повысить для потребностей космонавтики. Если бы при расчете траектории наших автоматических станций, опускавшихся на Венеру, использовалось значение астрономической единицы, определенное только астрономическими методами, то это привело бы к промаху в три радиуса Венеры. Последние измерения, проведенные в США (радиолокационные наблюдения Венеры и Марса с привлечением данных оптических наблюдений), дают для астрономической единицы значение $149\,597\,870,5 \pm 1,6$ км. Для получения этой фантастической точности пришлось даже учесть новейшие определения скорости света.

* * *

Расстояние от Земли до Солнца служит базисом при определении годовичного тригонометрического параллакса звезд, т. е. угла, под которым виден со звезды радиус земной орбиты. Вследствие вращения Земли вокруг Солнца положение звезд на небесной сфере должно изменяться с периодом в один год, и уже Копернику было ясно, что обнаружение параллактического смещения звезд было бы самым наглядным доказательством движения Земли вокруг Солнца. Но тщетно ждал ослепший Галилей, что его ученики обнаружат это смещение.

В поисках параллакса Дж. Брайлей в 1728 г. открыл аберрацию света — годовое колебание положения звезды, отражающее векторную сумму скоростей света и орбитального движения Земли. Доказательство вращения Земли вокруг Солнца тем самым было уже получено. Годичный параллакс звезд был измерен лишь в 1837–1840 гг. почти одновременно в России, Германии и Африке. На этот раз измерялось не абсолютное изменение координат звезды, как делал Брайлей, а ее смещение относительно более слабых и, следовательно, в среднем более далеких звезд

(способ, предложенный еще Галилеем), которое можно измерить более точно. Конечно, рассчитывать на успех можно было лишь в том случае, если для измерения параллакса выбраны достаточно близкие звезды.

В. Струве в Дерпте (ныне Тарту) избрал Вегу из-за ее большой яркости, Бессель в Кенигсберге — 61 Лебедя из-за ее большого собственного движения, а Гендерсон на мысе Доброй Надежды — α Кентавра¹⁾, которая одновременно и ярка, и обладает большим собственным движением. Струве первым получил достаточно точное значение. Выбор же Гендерсона оказался наилучшим: мы знаем теперь, что яркие звезды могут быть и сверхгигантами, находящимися на очень больших расстояниях. Звезды с большим параллаксом, чем у α Кентавра, не найдено и до сих пор — это ближайшая к нам звезда.

Строго говоря, ближайшей к нам звездой является третий компонент системы α Кентавра. Она так и называется — Проксима («Ближайшая») Кентавра. Яркая желтая звезда α Кентавра, третья по яркости на небе Земли (после Сириуса и Канопуса; ее имя — Ригель Кентавра — Нога Кентавра), на самом деле состоит из двух компонентов, находящихся на расстоянии 18'' друг от друга. Один из них является близнецом Солнца, другой же покраснее и послабее. На расстоянии почти в 2° от этой пары находится очень красная слабая звездочка (11-й величины). Она разделяет движение системы α Кентавра и, возможно, вращается вокруг нее с периодом в десятки тысяч лет. Именно эта звездочка ближе к нам, чем Альфа Кентавра, на 0,01 парсека.

Чтобы представить себе межзвездные расстояния, ныне нет необходимости в воображаемом поезде, долгие годы следовавшем к α Кентавра на страницах научно-популярных книжек. Все знают теперь, что полет к Луне, за тридцать земных диаметров, занимает около недели. Межпланетная станция «Пионер-10», впервые исследовавшая Юпитер и его спутники, была запущена 2 марта 1972 г.; 25 апреля 1983 г., пройдя 5 600 000 000 км, она пересекла орбиту Плутона, а 13 июня 1983 г. — орбиту Нептуна (часть орбиты Плутона вследствие ее большого эксцентриситета лежит внутри орбиты Нептуна). В последний раз сигнал от станции был пойман 23 января 2003 г.; он летел 11 часов 20 минут. В 12490 г. «Пионер-10» окажется вблизи летящей звезды Барнарда, на расстоянии 1,8 пк от нас. («Летящей» эта слабая звездочка названа потому, что из-за своей близости и высокой пространственной скорости быстро, на 10'' за год, перемещается по небу.)

Определение параллакса звезд — в первой пятерке величайших событий в истории астрономии. Оно доказало, что звезды — это далекие солнца, светящиеся столь слабо только из-за безмерной удаленности.

¹⁾ Поскольку написание «Кентавр» вместо более привычного для астрономов «Центавр» иногда вызывает возражения, нелишне дать справку: «В I веке до н. э. буква „С“ во всех положениях еще служила обозначением звука „К“, наша традиция произносить „С“ перед звуками „Э“, „И“ как „Ц“ ведет свое происхождение из поздней античности или из раннего средневековья» (Федорова Е. В. Латинские надписи. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 88).

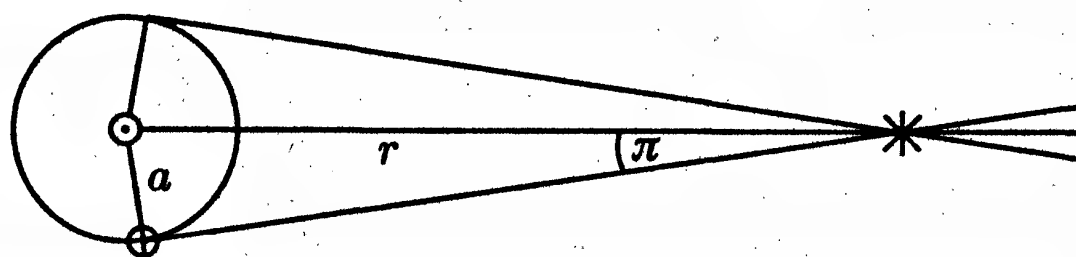


Рис. 2.1. Годичный параллакс π — угол, под которым со звезды видна большая полуось земной орбиты. Вследствие вращения Земли вокруг Солнца (☉) положение звезд на небесной сфере (его измеряют относительно более слабых и в среднем более далеких звезд) смещается за полгода на угол, равный 2π

Если известен годичный параллакс звезды (π), ее расстояние r легко найти: $r = \frac{a}{\sin \pi}$ (рис. 2.1).

Здесь a — расстояние Земли от Солнца, астрономическая единица (а. е.). Параллакс не превышает $1''$ и синус малого угла можно заменить углом в радианной мере: $\sin \pi \approx \frac{\pi''}{206\,265}$. Тогда $r = \frac{a \cdot 206\,265}{\pi''}$ км. Ясно, однако, что выражать гигантские звездные расстояния в километрах более чем неудобно. Немногим лучше и астрономические единицы. Общепринятой в звездной астрономии единицей расстояний является парсек (пк) — название, составленное из двух слов: параллакс и секунда²⁾. Ее предложил в 1912 г. Г. Тернер, один из создателей фотографической астрометрии. На расстоянии 1 пак находится звезда, параллакс которой равен 1 секунде. Расстояние в парсеках очень просто выражается через параллакс: $r = \frac{1}{\pi}$ пак. Из определения следует, что $1 \text{ пак} = 206\,265 \text{ а. е.} = 3,08 \cdot 10^{18} \text{ см}$. Килопарсек (кпк) равен 1 000 пак; 1 000 кпк = 1 мегапарсек (Мпк). Световой год употребляется исключительно в популярной литературе: $1 \text{ пак} = 3,259 \text{ св. лет}$. Ближайшая звезда, α Кентавра, находится на расстоянии в 1,34 пак и ее параллакс равен $0'',75$.

Еще недавно использовалась техника определения параллаксов, разработанная в основном Я. Каптейном и Ф. Шлезингером в начале нашего века. За несколько лет на длиннофокусном астрографе получали одну-две дюжины фотографий и с помощью измерительных машин определяли смещение изучаемой звезды относительно более слабых и в среднем более далеких звезд. Если среди них все же встретится близкая звезда, сама обладающая большим параллаксом, это обнаружится при решении уравнений; такую звезду исключают и повторяют решение. Обычная точность определения параллакса — $0'',01$. Ценой крайних ухищрений (автоматическое измерение, специальный подбор эпох фотоснимков, увеличение числа опорных звезд) эту ошибку удастся в последнее время довести до $0'',004$ – $0'',005$. К 1983 г. этим способом были измерены параллаксы 7 435 звезд, но их ошибки лишь для 343 звезд были меньше 15 %.

²⁾ Астрономы привыкли к сокращению «пс», а не «пк», но в физике это означает пикосекунды.

Ныне наиболее точные значения параллаксов приходят с орбитальных телескопов. Астрометрический спутник «Гиппаркос», запущенный в 1989 г. позволил определить положения около 120 000 тыс. звезд с ошибкой около $0'',001$, и значит, расстояние в 100 пк с его помощью можно было (в идеале) определить с ошибкой в 10 %. Сто парсеков составляют лишь сотую долю расстояния до центра Галактики, но геометрические методы работают и на гораздо больших расстояниях. Один из них использует перемещение Солнца в пространстве, которое приводит к медленному изменению координат звезд. Выделить его среди изменений, вызванных движением самих звезд в пространстве, можно в случае схожести векторов движения этих звезд в пространстве, или же для достаточно большой группы звезд, где случайные движения можно осреднить. Понятно, что этот средний, или статистический, параллакс определяется наиболее точно, если данная группа звезд находится на расстоянии порядка 90° от апекса — точки небесной сферы, в которую направлено движение Солнца.

Можно использовать и то обстоятельство, что собственное движение — перемещение звезды по небесной сфере за год (измеряемое в секундах дуги в год) и лучевая скорость (измеряемая в километрах в секунду) — в среднем величины эквивалентные (после учета влияния на них движения Солнца), ибо во всех направлениях средние пространственные скорости звезд данной группы должны быть одинаковы. Приравнивая собственное движение и лучевую скорость, мы имеем:

$$v_t = \frac{\mu}{\pi} \frac{\text{а. е.}}{\text{год}} = 4,74 \frac{\mu}{\pi} \frac{\text{км}}{\text{с}} \approx v_r,$$

откуда можно определить параллакс. Здесь v_r — скорость по лучу зрения, v_t — скорость в перпендикулярном направлении (обе в км/с) и μ — собственное движение в $''/\text{год}$.

Этим способом можно определять среднее расстояние групп звезд, удаленных на расстояние до 1–2 кпк. Время работает на нас, и наши потомки будут в гораздо лучшем положении: точность определения собственных движений звезд зависит от разности эпох — промежутка времени между снимками, по которым они измеряются. Это касается не только измерения среднего параллакса, но и других проблем, например, проверки расширения звездных ассоциаций, которое можно исследовать по собственным движениям. Ценность старых фотографий неба возрастает с каждым годом. Глубокого уважения заслуживает труд астрометристов, кажущийся иногда рутинным; он создает фундамент шкалы межзвездных и межгалактических расстояний. А здание, непрерывно растущее в высоту, постоянно нуждается в укреплении фундамента, и возможности здесь далеко еще не исчерпаны. Астрометрия всегда будет нужна.

Один из создателей теории звездной эволюции — М. Шварцшильд — говорил: «Практически вся моя работа была бы невозможна, если бы не было фундамента, создаваемого результатами астрометрии». Недаром среди проектов новых орбитальных телескопов на первом месте стоят

астрометрические спутники. Через десяток лет прямыми геометрическими методами будут определяться и расстояния далеко за пределами нашей Галактики, до миллионов световых лет.

* * *

Однако пока лишь расстояния до немногих сотен парсек измеряются из простых геометрических соображений, хотя при известных лучевых скоростях можно дойти до немногих тысяч парсек. Вот и о. Тимофей в своей книжке «Природоведение» (М.: Паломник, 1999) отмечает, что «непосредственно глядя в телескоп и замечая движение звезды, удастся измерить расстояние самое большое в десятки или сотни световых лет». Верно с точностью до порядка. Правда, сколько ни гляди в телескоп, никакого движения не увидишь, но понятно, что имеется в виду. Однако же в этой книжке утверждается (с. 67), что между учеными нет согласия относительно расстояния более далеких звезд. Утверждается, что хотя и есть ученые, полагающие, что звезды могут быть удалены на миллионы световых лет, «другие ученые (в основном верующие христиане) полагают, что у нас нет оснований считать космические расстояния столь громадными, а значит и возраст космоса исчислять миллионами лет». Понятно, что расстояние, выраженное в световых годах, дает минимально возможный возраст объекта, а ведь Мир (через ижицу) сотворен всего лишь 6 000 лет назад или около того. Приходится придумывать «других ученых» и пояснять, что расстояния, превышающие сотни световых лет, «вычисляются из некоторых предположений», которые могут быть и неверными.

В следующих главах будет подробно рассказано, каковы эти предположения. Их легко проверить. Если взять две одинаковые лампочки, и одну поставить на расстоянии в 1 м, а другую в 100 м, то измерения покажут, в точном соответствии с законами физики, что вторая лампочка светит нам в 10 000 раз, сто в квадрате, слабее... Это значит (да простит меня неверующий читатель за излишние подробности), что на расстоянии в X метров вторая лампочка будет светить слабее в « X в квадрате» раз. Вот и вся премудрость. Нужна только точная фотометрия и уверенность в том, что лампочки одинаковы — и тогда можно измерять любые расстояния, на которых они еще видны. Для этого нужны телескопы.

О. Тимофей обнадеживает школьников, сообщая им, что звезды, если Господь сподобит, они будут подробно изучать в старших классах (с. 68). Искренность веры делает ему честь. Однако же Господь не попустил обучать школьников астрономии в российских школах, она исчезла из школьных программ. И Бог с ней, ведь не тому могли бы научиться... Зато для старших классов о. Тимофей имеет пособие, называемое «Православное мировоззрение и современное естествознание», где уж астрономии дан полный окорот, в особенности идее эволюции звезд и Вселенной. Редактировал эти книжки Е. Лукьянов, член Российского физического общества. Страна должна знать своих героев, равно как и степень их подготовленности по физике... На его же собственных

книжечках, того же рода, стоит гриф «Рекомендована Отделом духовного образования и катехизации Московской патриархии».

Заметим в заключение, что о. Тимофей, однако, прямо противоречит указаниям Св. Писания, продолжая утверждать, что Земля вертится вокруг Солнца. Он, конечно, логичен, поскольку именно это движение Земли позволяет определять расстояния близких звезд, с которыми он согласен. Его более продвинутые американские коллеги-креационисты намерены изгнать лжеучение Коперника из школ. Половина американского населения уже не может ответить на вопрос, за какое именно время Земля совершает один оборот вокруг Солнца. Надо надеяться, что плоды нынешней реформы образования в России будут не менее впечатляющи. Впрочем, большинство наших интеллектуалов-гуманитариев, кажется, уже не в состоянии ответить правильно и на вопрос, отчего же происходит смена времен года...

ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА—РАССЕЛА

Характеристики звезд зависят от простейших и самых фундаментальных законов Природы и даже с нашими современными знаниями могли бы быть предсказаны на основе некоторых физических принципов, даже если бы мы никогда и не видели звезды.

Генри Рассел

Вы проинтегрировали орбиту звезды, о жалкий род исследователей, и звезда перестала для вас быть живым светом!

Антуан де Сент-Экзюпери

Но ужас звезд от знания не потух.

Максимилиан Волошин

Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me! — «Будь славной девочкой, поцелуй меня!» — первые буквы этой английской фразы, придуманной крупнейшим астрофизиком первой половины XX века Г. Расселом (1877–1957), соответствуют названиям спектральных классов звезд, расположенных в последовательности убывания температуры. Надо полагать, английские и американские студенты легко запоминают порядок спектральных классов... Впрочем, подобные фразы есть и на русском языке, например: «Один Бритый Англичанин Финики Жевал, Как Морковь», придуманная профессором Б. А. Воронцовым-Вельяминовым (1904–1994) (популярные книги которого и меня, и многих моих друзей приобщили к астрономии), или «О, Борис Александрович, Физики Ждут Конца Мучений», придуманная студентами, сдававшими экзамены Воронцову-Вельяминову...

Спектральная классификация звезд была разработана на Гарвардской обсерватории в конце XIX века под руководством Э. Пикеринга. Первоначально было 16 классов, обозначенных буквами в порядке латинского алфавита, затем некоторые классы были изъяты или переставлены местами, чтобы получилась плавная последовательность появления, усиления и ослабления определенных спектральных линий.

В 1920 г. индийский физик М. Саха окончательно доказал, что различия спектральных классов звезд вызваны не отличиями химического состава (это эффект второго порядка), а различиями температуры поверхности звезд, которая определяет степень ионизации и интенсивность линий тех или иных элементов. Звезды О, в спектрах которых видны линии гелия, наиболее горячи, а звезды М, которые показывают многочисленные линии металлов и даже молекулярные полосы, — наиболее холодные. Основополагающая работа Саха, представленная им в «*Astrophysical Journal*», была отклонена редактором...

Однако эти идеи были подхвачены астрономами, и в первую очередь Сесилией Пейн. Теперь стали возможными исследования относительного содержания различных элементов в атмосферах звезд. Огромный эмпирический материал был уже накоплен в Гарвардской обсерватории, где Анни Кеннон за сорок лет работы составила знаменитый Дрэперовский каталог звездных спектров, содержащий 359 082 звезды обоих полушарий неба до 8^м, 2. Оказалось, что звезды примерно на 70 % состоят из водорода и на 25–30 % из гелия, на долю же всех остальных элементов (в основном металлов) приходится иногда лишь доля процента массы звезды (точнее, ее атмосферы).

В 1920-х гг., в основном в трудах А. Эддингтона (1882–1944), были созданы основы теории внутреннего строения звезд. Было доказано, что звезды — это газовые шары, в которых давление газа уравнивает вес вышележащих слоев, а это давление, при невысокой плотности звезд, может быть обеспечено только очень высокой температурой. Поиски источников энергии звезд оставались центральной проблемой астрофизики в 1920–30-х гг. Эддингтон окончательно доказал непригодность гравитационного сжатия как источника энергии: сроки жизни звезд оказывались неприемлемо короткими, быстрого уменьшения периода цефеид — неизбежного следствия сжатия — не наблюдалось. Он считал, что необходимую энергию могут дать ядерные реакции, и еще в 1920 г. говорил: «То, что возможно в лаборатории имени Кавендиша [где работал Резерфорд], не может оказаться слишком трудным для Солнца». Когда физики отвечали ему, что в недрах звезд слишком холодно для этого, Эддингтон советовал им отправиться в ад, чтобы найти местечко погорячее... Дж. Джинс с самого начала XX века отстаивал в качестве источника энергии звезд аннигиляцию вещества. Пожирая себя, звезды могли бы жить очень долго: Солнце, например, 10^{13} лет.

Успехи ядерной физики в конце 1930-х гг. принесли решение проблемы. Г. Бете и К. Вейцеккер окончательно доказали в 1938 г., что слияние четырех протонов в ядро гелия может происходить в недрах звезд и это «горение» водорода дает достаточно много энергии. Только теперь стало возможно строить теоретически обоснованные гипотезы об эволюции звезд. Но попытки эволюционной интерпретации взаимосвязей между различными характеристиками звезд и особенно между поверхностной температурой и светимостью начались давно.

В 1905 г. Эйнар Герцшпрунг (1873–1967) обнаружил, что собственные движения ранних звезд (О и В) всегда очень малы, а у поздних звезд (К и М) встречаются как исчезающе малые, так и большие собственные движения. Это могло означать только то, что звезды классов О и В всегда далеки, поскольку их количество в единице объема невелико. Несмотря на это, среди них есть и яркие звезды, и, значит, светимость звезд О и В всегда велика. Среди поздних же звезд встречаются звезды как большой, так и малой светимости (гиганты и карлики), причем большой светимостью обладают лишь звезды с особенно узкими линиями в спектре, отмеченные в гарвардской классификации индексом «с». Такое же деление поздних звезд на гиганты и карлики Герцшпрунг обнаружил на построенной им в 1908 г. для звездного скопления Гиады диаграмме «звездная величина—эффективная длина волны». (Эффективная длина волны, как и спектральный класс, является мерой поверхностной температуры звезды.)

В 1910 г. к такому же выводу независимо пришел Генри Рассел (1877–1957). На построенной им диаграмме «спектр—светимость» для компонентов двойных звезд помимо главной последовательности, уходящей вниз к звездам М, были также и поздние звезды высокой светимости. Рассел сразу же дал этой диаграмме эволюционную интерпретацию, и с тех пор диаграмма Герцшпрунга—Рассела остается одним из самых мощных средств исследования звездного мира. Исторически было бы правильно называть диаграммой Герцшпрунга диаграмму «звездная величина—показатель цвета», а диаграммой Рассела — диаграмму «светимость—спектр», но обе диаграммы по сути дела изображают одно и то же — соотношение между количеством излучаемой звездой энергии и ее поверхностной температурой. Пустоты на диаграмме означают, что некоторые соотношения между этими величинами являются запретными или же соответствуют очень коротким стадиям эволюции. Сравнение с наблюдениями теоретической диаграммы Герцшпрунга—Рассела (Г—Р) было и остается лучшим способом проверки теорий звездной эволюции. Эта диаграмма дала также незаменимые способы определения расстояний звезд.

Описывая эволюционный путь звезды на диаграмме Г—Р, Рассел опирался на идеи Локьера. Он исходил из гипотезы, что с течением времени звезда все больше и больше сжимается, гравитационная энергия преобразуется в тепловую и затем в энергию излучения. Самыми молодыми тогда следовало бы считать звезды в правом верхнем углу — гиганты класса М. Сжимаясь и нагреваясь, звезды переходят на полосу, тянущуюся из левого верхнего в правый нижний угол диаграммы — главную последовательность. Затем они начинают остывать и «скатываться» вниз по этой последовательности, вновь становясь звездами класса М — но уже карликами. Единственным источником энергии тогда считалось гравитационное сжатие, и эта гипотеза подкупала своей простотой и естественностью. Уже в 20-х годах XX века стало ясно, что это не так, что сроки эволюции звезд получаются неприемлемо короткими, но мысль о том, что все последовательности на диаграмме Г—Р как раз и являются

эволюционными путями звезд, вплоть до 1950-х гг. владела умами многих астрономов.

Диаграмму Г—Р для ближайших звезд можно построить, зная их параллаксы (рис. 3.1). Из этого рисунка видно, что большинство этих

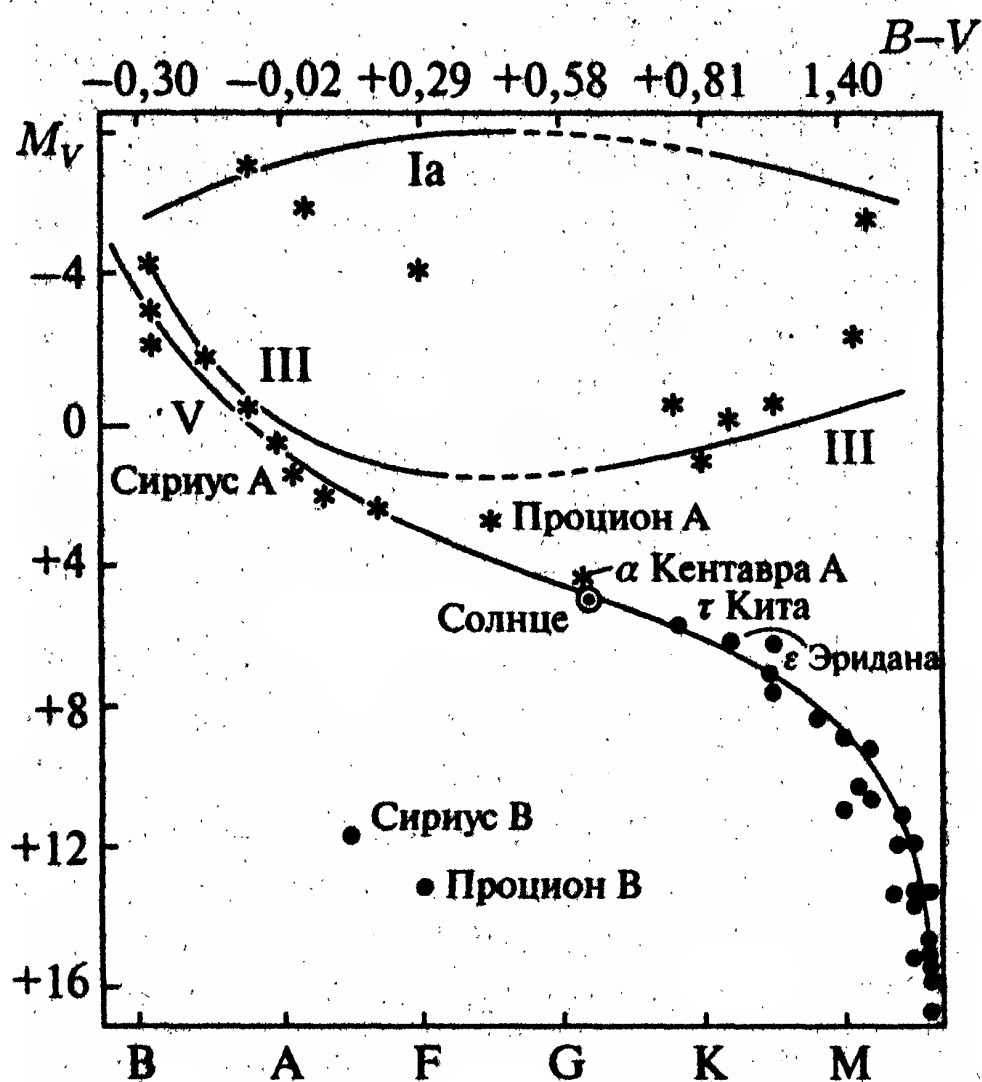


Рис. 3.1. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела для ярчайших звезд неба (звездочки) и звезд, находящихся ближе 4 пк (кружки). Указаны последовательность ярких сверхгигантов (I), гигантов (III) и карликов (главная последовательность, V). Шкала показателей цвета $B - V$ соответствует спектральным классам для звезд главной последовательности, сверхгиганты при том же классе несколько краснее (сравните с рис. 3.2)

Герцшпрунг, отметив, что узкие линии в спектре характерны для звезд высокой светимости, говорил о такой возможности, а в 1914 г. Адамс и Кольшюттер обнаружили несколько пар спектральных линий, отношение интенсивностей которых было разным у звезд с большой и малой светимостью. Построив по близким звездам зависимость интенсивности линий от светимости, они получили возможность определять светимости сколь угодно далеких звезд — лишь бы они были достаточно ярки для получения хорошего спектра.

Светимость выражается в единицах светимости Солнца или в так называемых абсолютных величинах — звездной величине, которую звезда имела бы на расстоянии 10 пк. Согласно определению, видимая звездная величина m связана с абсолютной звездной величиной M формулой

звезд — желтые и красные карлики, хотя присутствует некоторое количество гигантов. Ни один сверхгигант, ни одна звезда класса O или B не попала в круг радиусом 20 пк от Солнца. Совсем другая картина получается, если построить диаграмму Г—Р для самых ярких звезд неба. Оказывается, что α Кентавра и Сириус ярки просто потому, что близки. Но вот Канопус, Денеб, Бетельгейзе — эти сверхгиганты излучают в тысячи раз больше энергии, чем Сириус, и уступают ему в блеске лишь потому, что в сотни раз дальше его.

Но как же узнали расстояние этих звезд? Исчезающе малое собственное движение указывает лишь нижний предел расстояния. Оказывается, спектр может сказать не только о температуре звезды, но и о ее светимости. Еще Герцшпрунг

$$\frac{J}{J_0} = 2,512^{M-m} = \frac{10^2}{r^2},$$

где J — блеск звезды на данном расстоянии r и J_0 — блеск ее на расстоянии 10 пк. (Как известно, блеск обратно пропорционален квадрату расстояния.) Из этой формулы следует (логарифмируем): $0,4(M-m) = 2 - 2 \lg r$, откуда

$$\lg r = 0,2(m - M) + 1.$$

Таким образом, расстояние определяется величиной $m - M$, называемой модулем расстояния. Из светимости и видимой величины можно было бы сразу же получить расстояние, если бы видимая величина не была ослаблена поглощением и рассеянием света частицами межзвездной пыли. О мучительной проблеме учета поглощения света мы еще расскажем.

После создания теории звездных спектров стало ясно, почему некоторые линии позволяют определить светимость звезды. Это те линии, которые чувствительны не только к температуре, но и к плотности атмосферы. Плотность же зависит от ускорения силы тяжести близ поверхности звезды, которое гораздо меньше у гигантов, чем у карликов, так как массы их больше в десятки раз, а радиусы — в сотни и тысячи. Плотность в атмосферах гигантов (и тем более сверхгигантов) гораздо меньше, чем у карликов, и при одинаковой температуре у них достигается большая степень ионизации. Линии ионизованных элементов в спектрах гигантов поэтому усилены. От давления в атмосфере зависят и ширины некоторых линий, например, бальмеровской серии водородных линий, и для ранних звезд они являются хорошими критериями светимости.

В настоящее время разработаны многочисленные способы определения светимости по спектральным данным или данным узкополосной фотометрии. Мы не будем на них останавливаться и подчеркнем только еще раз замечательную особенность этого метода определения расстояния: ошибка здесь не зависит от расстояния и составляет в среднем 20 %.

Таким образом, уже по одним только спектральным данным можно получить представление о положении звезды на диаграмме Г—Р. В 1940-х гг. на Йеркской обсерватории В. В. Морган и его сотрудники дополнили гарвардскую спектральную классификацию вторым параметром — классом светимости. Эта система (обозначаемая обычно МК, Моргана—Кинена) позволяет грубо оценить светимость звезды сравнением спектра со стандартным. В системе МК пять классов светимости, обозначаемых следующим образом:

- Ia — яркие сверхгиганты (например, Денеб, A2 Ia),
- Ib — слабые сверхгиганты (Канопус, F0 Ib),
- II — яркие гиганты (Адара, B2 II),
- III — гиганты (Арктур, K2 III),
- IV — субгиганты (Процион, F5 IV),
- V — карлики (Сириус, A1 V; Солнце, G2 V; α Кентавра, G2 V и K5 V).

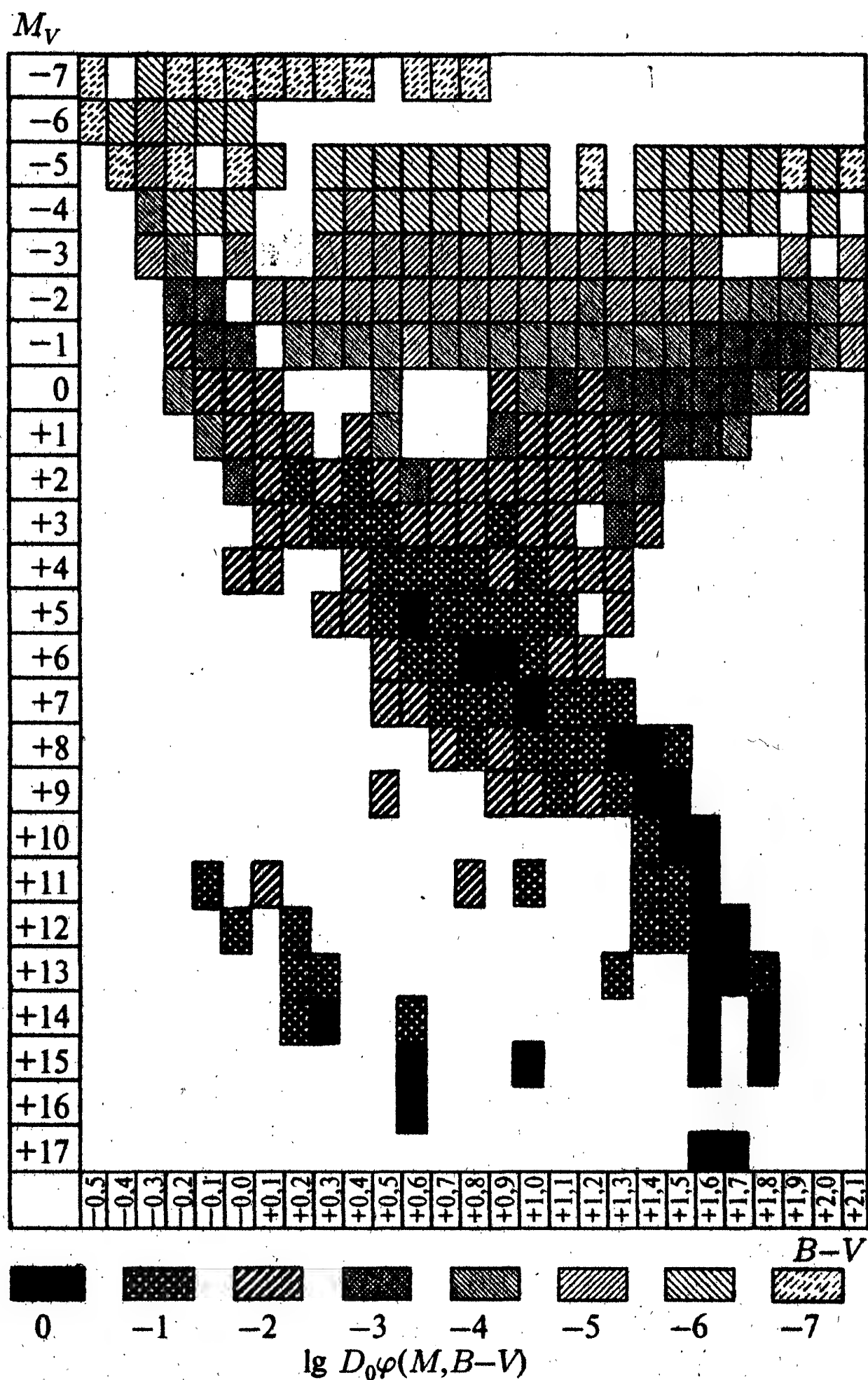


Рис. 3.2. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела, показывающая относительную численность звезд разных типов в логарифмической шкале (так, в единице объема поздних карликов в 10^7 раз больше, чем ярких сверхгигантов). 80% звезд относится к главной последовательности, 17% — к белым карликам всех цветов. Рисунок взят из работы Г. А. Стариковой

Подчеркнем, что это — названия последовательностей на диаграмме Г–Р, и не всегда они характеризуют светимость звезды. Так, среди звезд V класса светимости — звезд главной последовательности — есть и звезды с абсолютной величиной $+18^m$ — воистину карлики, но есть

и звезды класса О с величиной -6^m , ярче Солнца в 20 000 раз. Они ярче гигантов класса К, и все же называть их гигантами нехорошо, коль скоро после спектрального класса стоит индекс V. На диаграмме Г—Р, изображенной на рис. 3.1, указаны последовательности Ia, III и V, ближайшие звезды и самые яркие звезды нашего неба. Рис. 3.2 дает представление об относительной численности звезд разной светимости и температуры.

Итак, по виду спектра звезды, по зависимости «интенсивность спектральной линии—светимость» можно определить светимость и затем расстояние. Но как построить такую зависимость? Ведь среди звезд с известным параллаксом лишь несколько гигантов и совсем нет сверхгигантов. На помощь приходят звезды высокой светимости, входящие в состав звездных скоплений.

ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ

*Две вещи наполняют душу всегда
новым и все более сильным удивлением
и благоговением, чем чаще и продол-
жительнее мы размышляем о них —
звездное небо надо мной и моральный
закон во мне.*

Иммануил Кант

*И царственным гербом
Горят холодные алмазные Плеяды
В безмолвии ночном.*

Иван Бунин

Заканчивая ясным зимним вечером лыжную прогулку, нельзя не за-
любоваться блистающими на юге звездами: радужная дрожащая искра
Сириуса, голубой колючий Ригель, светлый рубин Бетельгейзе. Здесь са-
мое красивое созвездие неба — Орион, здесь гуще всего яркие звезды —
половину всех звезд первой величины можно окинуть одним взглядом.

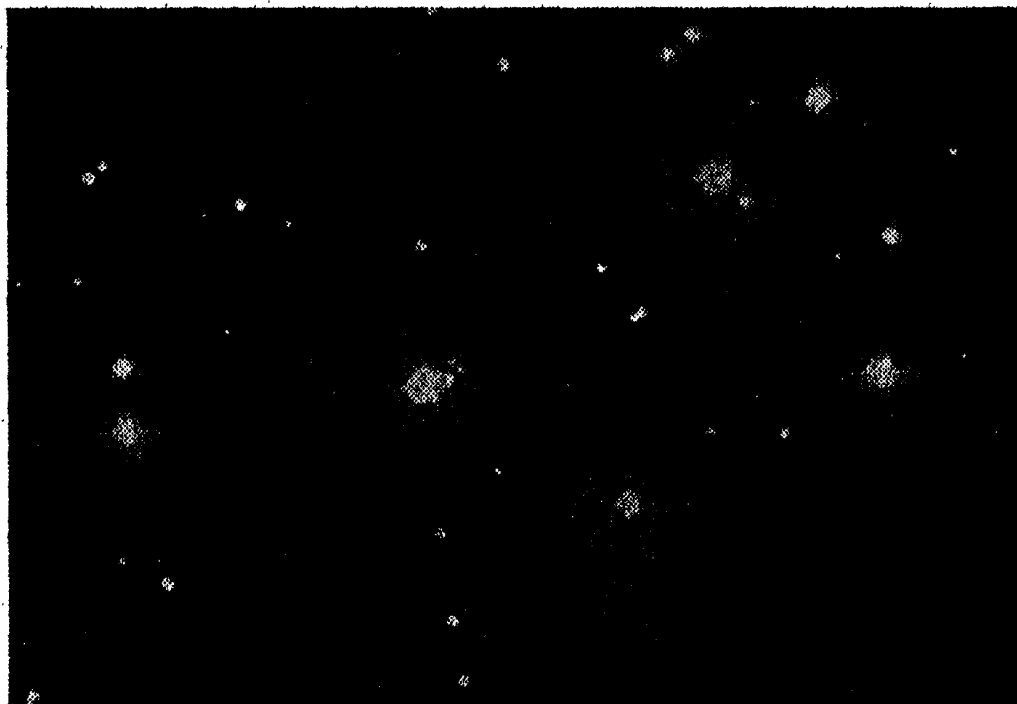


Рис. 4.1. Рассеянное скопление Плеяды

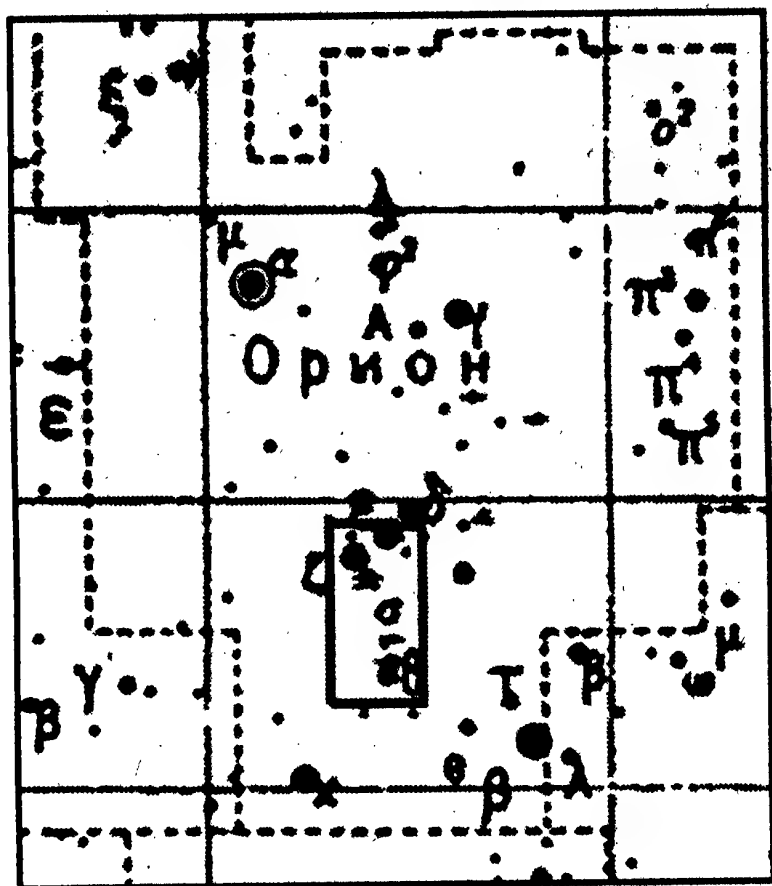


Рис. 4.2а. Карта созвездия Ориона. Прямоугольник ограничивает область, изображенную на рис. 4.2б

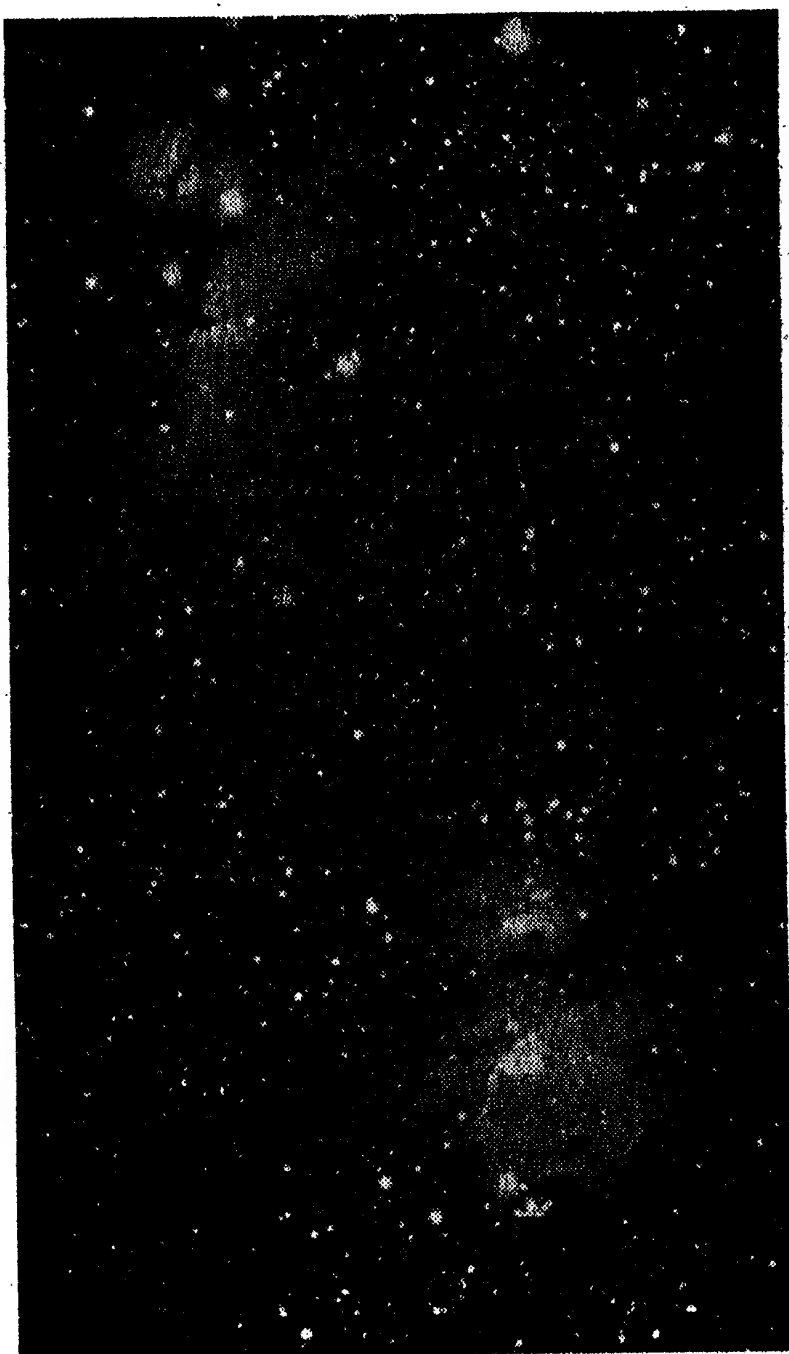


Рис. 4.2б. Центральная часть созвездия Орион — от Пояса Ориона до Меча Ориона (справа внизу)

Рядом с оранжевым Альдебараном скопились слабые звездочки — это Гиады, ближайшее к нам звездное скопление, — если не считать широко раскинутое в пространстве разреженное скопление, ядро которого составляют звезды ковша Большой Медведицы. И здесь же, в созвездии Тельца, крошечный ковшик Плеяд, который для близорукого глаза выглядит туманным пятнышком. Хороший глаз видит в Плеядах шесть-семь звезд, а Мёстлин, учитель Кеплера, видел 11. Плеяды также одно из самых близких скоплений (рис. 4.1). Под Поясом Ориона видны, сверху вниз, три звездочки — это Меч Ориона. Средняя из них кажется туманной — вокруг нее знаменитая туманность Ориона, область продолжающегося звездообразования. На снимке в инфракрасных лучах, пробивающих толщу поглощающей свет материи, в туманности видны недавно — несколько десятков тысяч лет назад — рожденные звезды. Это едва ли не самое молодое среди известных нам звездных скоплений (рис. 4.2б).

Почти все созвездия объединяют на картинной плоскости звезды, широко раскинутые в пространстве. Однако яркие звезды Ориона со-

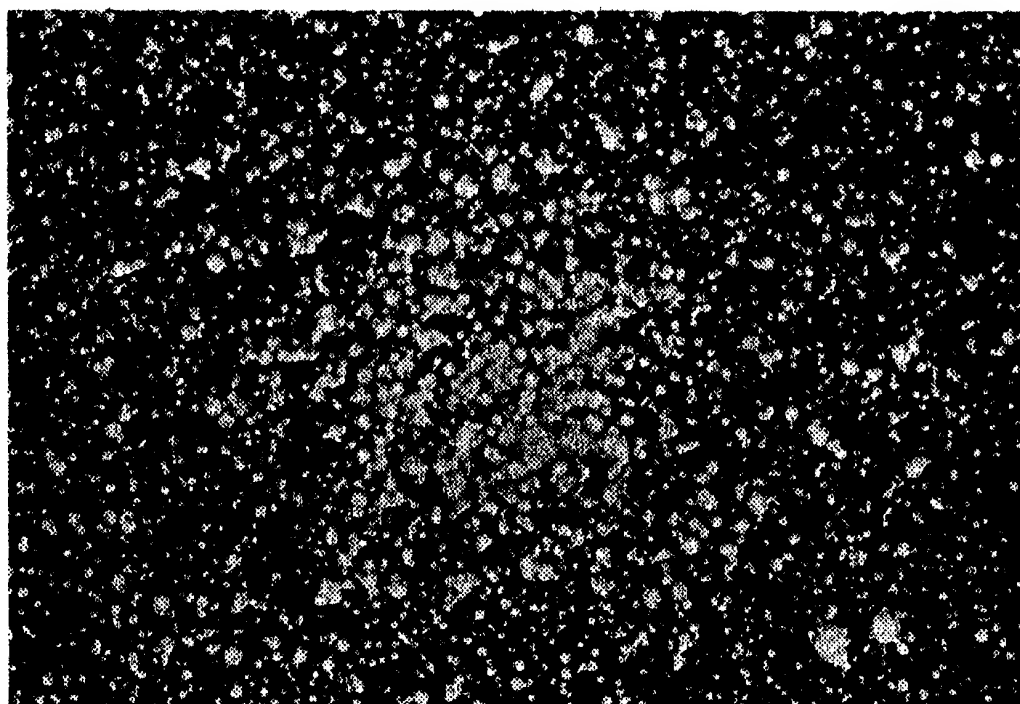


Рис. 4.3. Рассеянное скопление M11

ставляют большую ассоциацию молодых звезд, а звезды Волос Вероники — гораздо более компактное звездное скопление. Звездное скопление — это группа звезд, расположенных близко друг к другу и связанных взаимным тяготением. Очевидно, что звезды скопления образовались совместно в едином процессе и более или менее одновременно. Сейчас в Галактике насчитывают 1 540 рассеянных скоплений и 150 шаровых звездных скоплений. Точнее говоря, такое количество скоплений включено в каталоги — полное число шаровых скоплений может быть несколько больше, а рассеянных, гораздо меньших по количеству звезд — заведомо больше в несколько десятков раз, поскольку они доступны нашим телескопам лишь в окрестностях Солнца. Как говорит само название, рассеянные скопления — это разреженные группы; они состоят из десятков и сотен, реже тысяч, звезд (рис. 4.3). Шаровые скопления —

ставляют большую ассоциацию молодых звезд, а звезды Волос Вероники — гораздо более компактное звездное скопление. Звездное скопление — это группа звезд, расположенных близко друг к другу и связанных взаимным тяготением. Очевидно, что звезды скопления образовались совместно в едином процессе и более или менее одновременно. Сей-

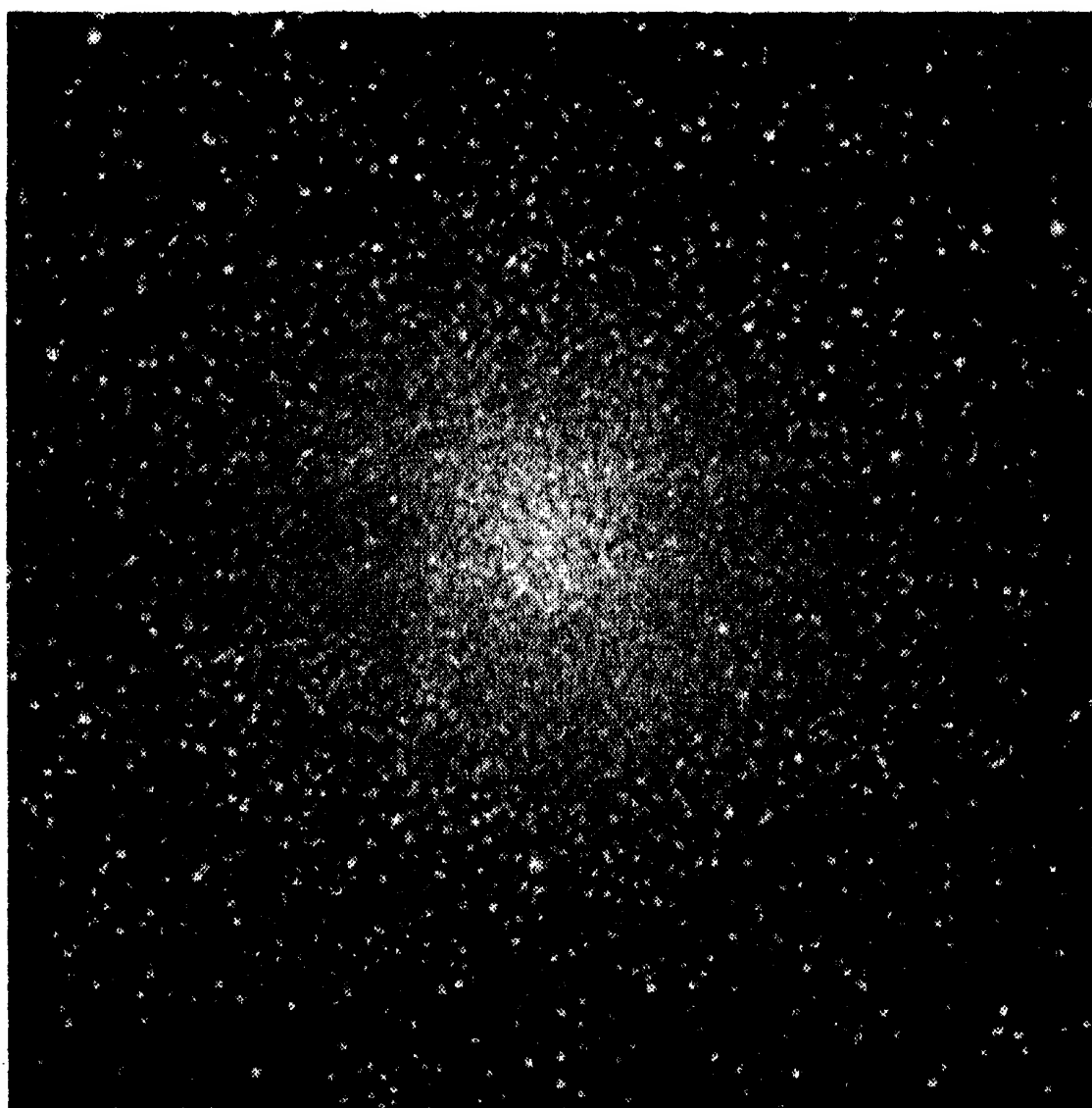


Рис. 4.4. Шаровое скопление Омега Кентавра

круглые образования, включающие десятки и сотни тысяч звезд, сильно концентрирующихся к центру скопления (рис. 4.4). Резко отличается распределение в пространстве двух типов скоплений: рассеянные скопления концентрируются к плоскости Галактики, шаровые — к ее центру. Как мы увидим, эти различия отражают разный возраст шаровых и рассеянных скоплений. Об этом же говорят и диаграммы Г—Р скоплений.

Диаграммы рассеянных скоплений обычно представляют собой узкую полосу точек, тянущуюся вдоль главной последовательности (ГП). Верхний конец этой цепочки, как заметил еще Р. Трюмплер в 1930-х гг., отклоняется вверх и вправо. Часто присутствует несколько красных гигантов, отделенных от ГП ненаселенной областью диаграммы — пробелом Герцшпрунга; светимость их близка к светимости ярчайших звезд ГП скопления (рис. 4.5).

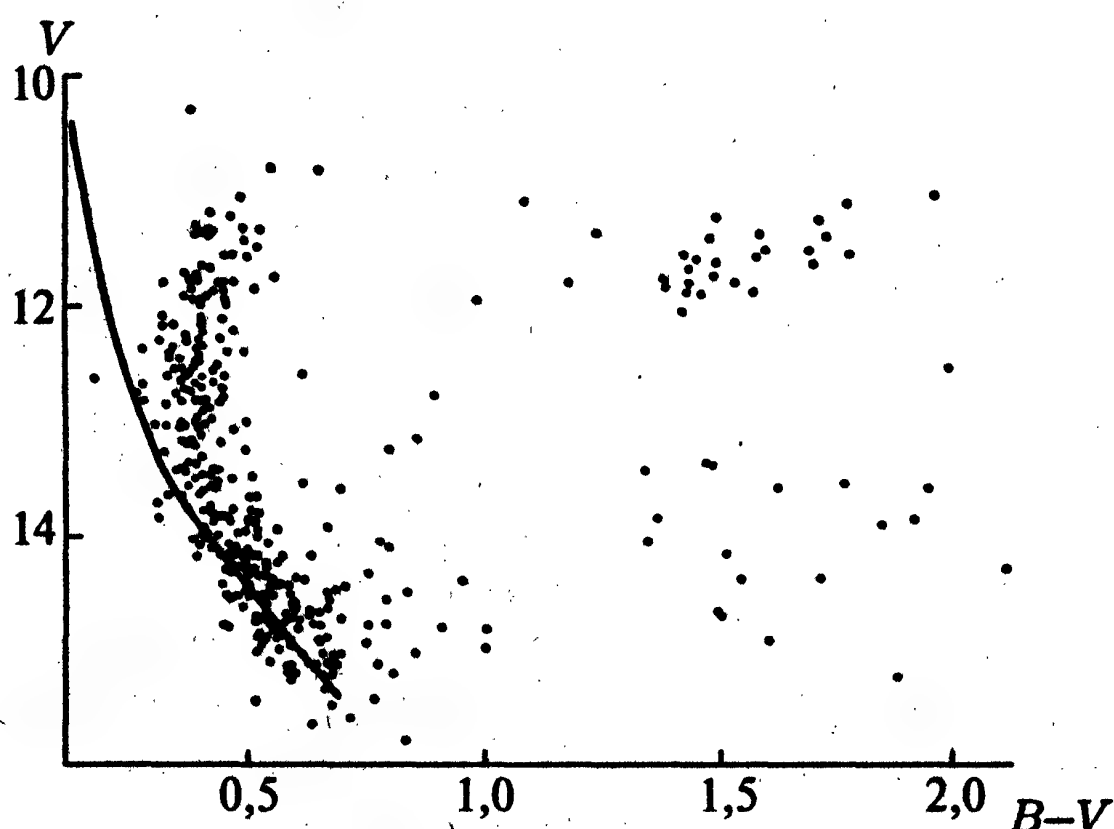


Рис. 4.5. Диаграмма «показатель цвета—звездная величина» для рассеянного скопления М 11. Наиболее яркие звезды отклоняются вправо от главной последовательности (кривая), еще более массивные звезды проэволюционировали в красные гиганты (в правом верхнем углу). Начиная с 13^m становится заметной примесь звезд фона

Совмещение ГП скопления, построенной в видимых величинах, с ГП для звезд из окрестностей Солнца (полученной в абсолютных звездных величинах), позволяет, в принципе, определить модуль расстояния, который равен величине сдвига диаграмм вдоль оси ординат, нужного для такого совмещения. Этот способ применялся давно, но до конца 1950-х гг. давал очень грубые результаты. Ширина полосы ГП для звезд в окрестностях Солнца составляет около 2^m , и неизвестно было, с чем, собственно, совмещать узкую цепочку звезд ГП скопления. Отсутствовала точная и однородная фотометрия, мало было известно о поглощении света. Все эти трудности были преодолены еще в 1950-х гг.

Шкала расстояний рассеянных скоплений опирается на расстояния ближайших звезд (т. е. на тригонометрические параллаксы) и в особенности на расстояние ближайшего скопления — Гиад. Поскольку в скоплениях скорости звезд относительно Солнца равны и одинаково направлены и поскольку из-за близости Гиад собственные движения их звезд μ достаточно велики, можно уверенно определить точку пересечения векторов скоростей звезд на небесной сфере вследствие перспективы (радиант), которая находится близ Бетельгейзе. Индивидуальные параллаксы звезд Гиад можно определить из следующих соображений (рис. 4.6). Пусть S будет Солнце, а SR — направление на радиант, параллельное вектору скорости звезды v и составляющее угол θ с направлением к звезде A . Компоненты v будут v_r и v_t ; перемещение v_t (км/с) видно под углом μ (″/год) и связано с μ соотношением $v_t = \frac{\mu}{\pi''} \frac{\text{а.е.}}{\text{год}}$, откуда

$v_t = 4,74 \frac{\mu}{\pi''} \frac{\text{км}}{\text{с}}$, где π — параллакс звезды A . Из рис. 4.6 видно, что $v_t = v_r \operatorname{tg} \theta$. (См. также формулу на с. 42.)

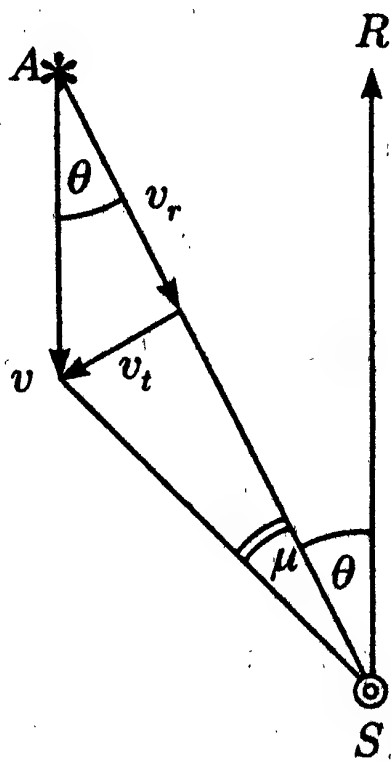


Рис. 4.6. Определение параллакса звезд близкого скопления. Параллельные в пространстве векторы скоростей звезд скопления сходятся на небесной сфере в радианте; направления на радиант и на звезду A составляют угол θ

Приравняв друг другу эти два выражения для v_t , находим формулу для определения параллакса звезды, находящейся на угловом расстоянии θ от радианта:

$$\pi = \frac{4,74\mu}{v_r \operatorname{tg} \theta}.$$

Средний модуль расстояния звезд Гиад по этой формуле получается равным 3,2, и если с этим модулем построить диаграмму Г—Р этого скопления, то его главная последовательность совпадет с ГП ближайших звезд с известными параллаксами. Дополнительным контролем может служить совпадение ГП Гиад с ГП скопления Большой Медведицы (в него входят и пять звезд «ковша»), еще более близкого, но, к сожалению, очень бедного скопления. Расстояние скопления Гиад, определяемое этим геометрическим методом и не зависящее от каких-либо предположений о природе звезд, является краеугольным камнем шкалы расстояний во Вселенной.

Гиады движутся по направлению к радианту и, следовательно, удаляются от нас. Сейчас диаметр скопления около 15° , а ярчайшие звезды — третьей величины. Через 65 млн лет диаметр Гиад будет $20'$ и самые яркие звезды будут лишь 12^m . Это будет обычное бедное скопление, каких сотни...

Еще для нескольких скоплений (Волосы Вероники, Плеяды, Ясли) можно оценить расстояние тем же способом по схождению векторов скоростей к радианту, но с гораздо меньшей точностью.

Таким образом, положение нижней части ГП (в Гиадах и в ближайших окрестностях Солнца нет звезд высокой светимости) фиксируется достаточно надежно. Теперь надо продлить ГП в сторону ярких звезд, и можно будет для любого скопления определять фотометрическое расстояние путем сдвига диаграммы до совмещения главных последовательностей. Но сначала необходимо было научиться строить диаграммы «цвет—величина скоплений» с большой точностью и в однородной системе, освободить их от влияния поглощения света и различия возрастов скоплений. Все это было бы невозможно без массового применения фотоэлектрических методов измерения блеска и показателей цвета звезд.

* * *

Первые попытки применить фотоэффект в астрономии начались давно. С 1910 г. Стеббинс упорно старался использовать селеновый фотоэлемент для измерения блеска звезд. Первые опыты были неудачны — стрелка гальванометра не шелохнулась, даже когда телескоп был направлен на Юпитер! Случайно, в зимнюю ночь, Стеббинс заметил, что чувствительность фотометра увеличилась вдвое. Вскоре, нечаянно уронив фотоэлемент, он обнаружил, что осколки дают меньшие шумы — флуктуации электротока, рождающиеся внутри самого фотоэлемента. Поместив один из них в сосуд со льдом, он смог наконец получить кривую блеска Алголя — затменной переменной звезды второй величины.

Широкое внедрение фотоумножителей в 1950-х гг. привело к настоящей революции в фотометрии. Точность измерения блеска и цвета звезд увеличилась в десятки раз. Оказалось, что систематические ошибки фотографической фотометрии¹⁾ достигают 1^m и больше: уже поэтому нельзя было говорить о надежных модулях расстояния. Выявилась необходимость стандартизации участков спектра, в которых ведется фотометрия. Алюминированные зеркала рефлекторов отражают ультрафиолет, а объективы рефракторов его не пропускают. Поэтому даже при использовании одних и тех же пластинок и для одних и тех же звезд результаты фотометрии получаются разными. А поскольку разные звезды отличаются по количеству ультрафиолетового излучения, между разными фотометрическими системами часто нельзя получить однозначное соотношение. Доказав это, Гарольд Джонсон (1921–1980) предложил в 1953 г. вести фотометрию в трех участках спектра: ультрафиолетовом (ultraviolet), синем (blue) и желтом (visual). Ненужные участки спектра исключаются светофильтрами. Эта система *UBV* постепенно вошла во всеобщее употребление (прежде всего потому, что сам Джонсон и его сотрудники

¹⁾ Точнее говоря, Международной системы фотографических величин, основанной на измерениях звезд вблизи Северного полюса небесной сферы.

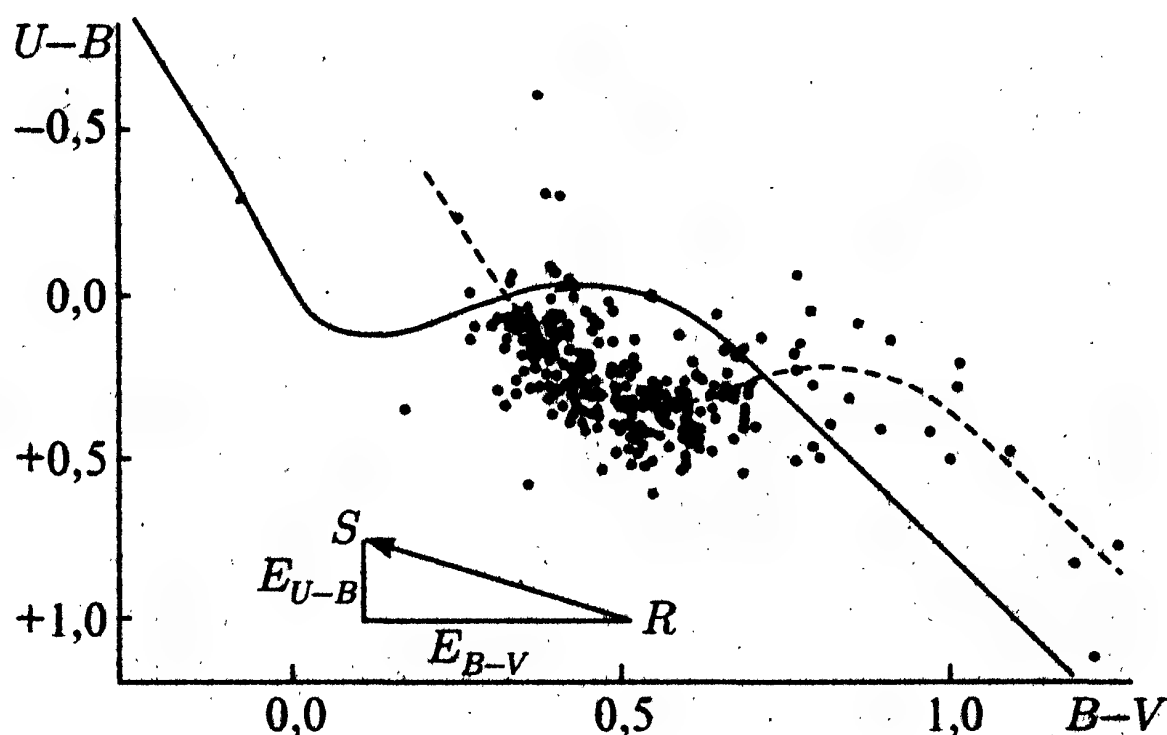


Рис. 4.7. Двухцветная диаграмма $(U - B) \sim (B - V)$ для скопления М 11. Сплошная кривая — линия истинных цветов для звезд главной последовательности, не подвергшихся поглощению. Величина сдвига вдоль линии нарастающего покраснения SR , требуемого для совмещения диаграммы скопления с линией истинных цветов, определяет избыток цвета скопления E_{B-V} и E_{U-B}

провели измерения тысяч звезд, которые стали служить стандартами звездных величин) и сейчас является общепринятой. К 1978 г. в этой системе были уже получены фотоэлектрические величины 53 845 звезд. Нуль-пункт показателей цвета определяется в системе UBV условием, чтобы у звезд $A0 V$, не пострадавших от поглощения света (которое ведет к увеличению показателя цвета), между показателями цвета соблюдалось соотношение $B - V = U - B = 0$. Показатель цвета $B - V$ звезды $K3$ будет тогда $+1^m,0$, а показатель цвета звезды $O5$ равен $-0^m,33$. Использование стандартной фотометрической системы и применение точной электрофотометрии позволило сравнивать друг с другом диаграммы скоплений, изучать их тонкие детали, но прежде чем это стало возможным, был найден способ избавиться от поглощения света, разного в разных участках неба.

Главный способ учета поглощения — сравнение наблюдаемого показателя цвета звезды $B - V$ с истинным показателем $(B - V)_0$, который имеет звезда данного спектрального класса, не подвергнувшаяся поглощению. Разность этих двух показателей, $(B - V) - (B - V)_0 = E_{B-V}$, называемую избытком цвета, можно перевести в полное поглощение A_V , зная коэффициент $\gamma = A_V / E_{B-V}$. Но найти спектральный класс звезды гораздо сложнее, чем определить ее цвет и блеск. При одном и том же времени экспозиции возможна фотометрия на 6–8 величин более слабых звезд, чем при получении спектрограмм. Для массового изучения скоплений необходимо было научиться определять избытки цвета и поглощение только по фотометрическим данным, и эта задача была решена Г. Джонсоном и В. Морганом в 1953 г.

Следуя идее В. Беккера, они предложили использовать двухцветную диаграмму $(U - B) \sim (B - V)$. Линию истинных (не искаженных поглощением) цветов на этой диаграмме можно построить по близким звездам, для которых поглощением света можно пренебречь. Далее, проследив за сдвигом по этой диаграмме звезд одинакового спектрального класса при увеличении их избытка цвета, можно получить линии нарастающего покраснения, по которым сдвигаются вправо вниз звезды из-за поглощения. Зная теперь положение линии истинных цветов и наклон ($E_{U-B}/E_{B-V} = 0,72$) линии нарастающего покраснения SR , мы можем сдвинуть звезду вдоль этой линии до пересечения с линией истинных цветов (рис. 4.7). Величина проекции этого сдвига на ось $B - V$ и будет, по определению, избытком цвета E_{B-V} . Для успеха дела существенно, чтобы угол между двумя линиями на диаграмме был достаточно велик, и для звезд О и В диаграмма $(U - B) \sim (B - V)$ удовлетворяет этому условию (рис. 4.8). Для звезд А и F линия покраснения, к несчастью, пересекает линию истинных цветов дважды или трижды. Для сверхгигантов F и G эти две линии почти параллельны. Полосы пропускания некоторых фотометрических систем специально выбраны так, чтобы увеличить этот угол.

Без трехцветной фотометрии были бы невозможны ни развитие теории звездной эволюции, ни надежные определения расстояний скоплений. И хотя идея принадлежит В. Беккеру, честь создания этого метода должна быть отдана Г. Джонсону. «Выиграл сражение не тот, кто дал хорошую идею, а тот, кто взял на себя ответственность за ее осуществление», — говорил Наполеон.

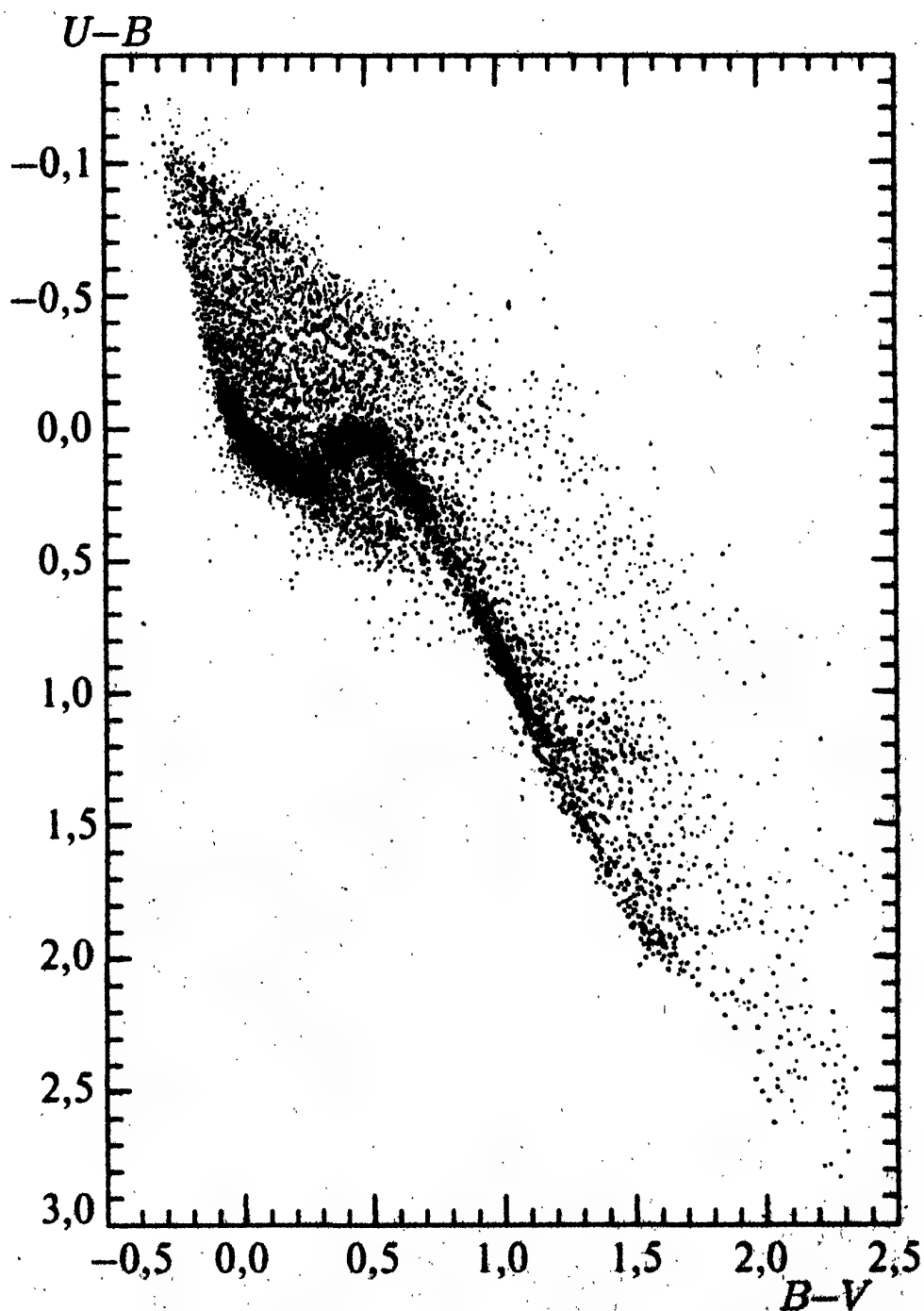


Рис. 4.8. Двухцветная диаграмма $(U - B) \sim (B - V)$ для звезд галактического поля, позволяющая проследить положение линии истинных цветов и оценить наклон линий нарастающего покраснения. Рисунок взят из работы Б. Николе

Беккер предложил верные принципы построения фотометрических систем еще в 1938 г. «Целых два десятилетия, — писал В. Л. Страйжис, — астрономы продолжали мучиться с устаревшей „Международной системой“. В результате огромное количество исследований, выполненных в эти годы, сейчас имеет малую ценность».

* * *

Об истории исследований поглощения света стоит рассказать подробнее. Только история установления природы спиральных туманностей может соперничать с историей обнаружения межзвездного поглощения света изобилием поучительных заблуждений. И хотя в обоих случаях совершенно правильные соображения высказывались еще в XVIII веке, истина была окончательно установлена лишь в 30-х годах XX века.

Много лет назад я был немало удивлен, не увидев на фотографии области созвездия Ориона, помещенной в журнале «Земля и Вселенная», общеизвестной темной туманности Конская Голова. Это была иллюстрация к моей первой статье в этом журнале, и снимок был репродукцией пластинки 40-сантиметрового астрографа ГАИШ; на оригинале туманность была великолепно видна. Оказывается, художник решил, что на небе не может быть столь черных областей, да еще такой причудливой формы, — и заретушировал несчастную туманность (рис. 4.9).

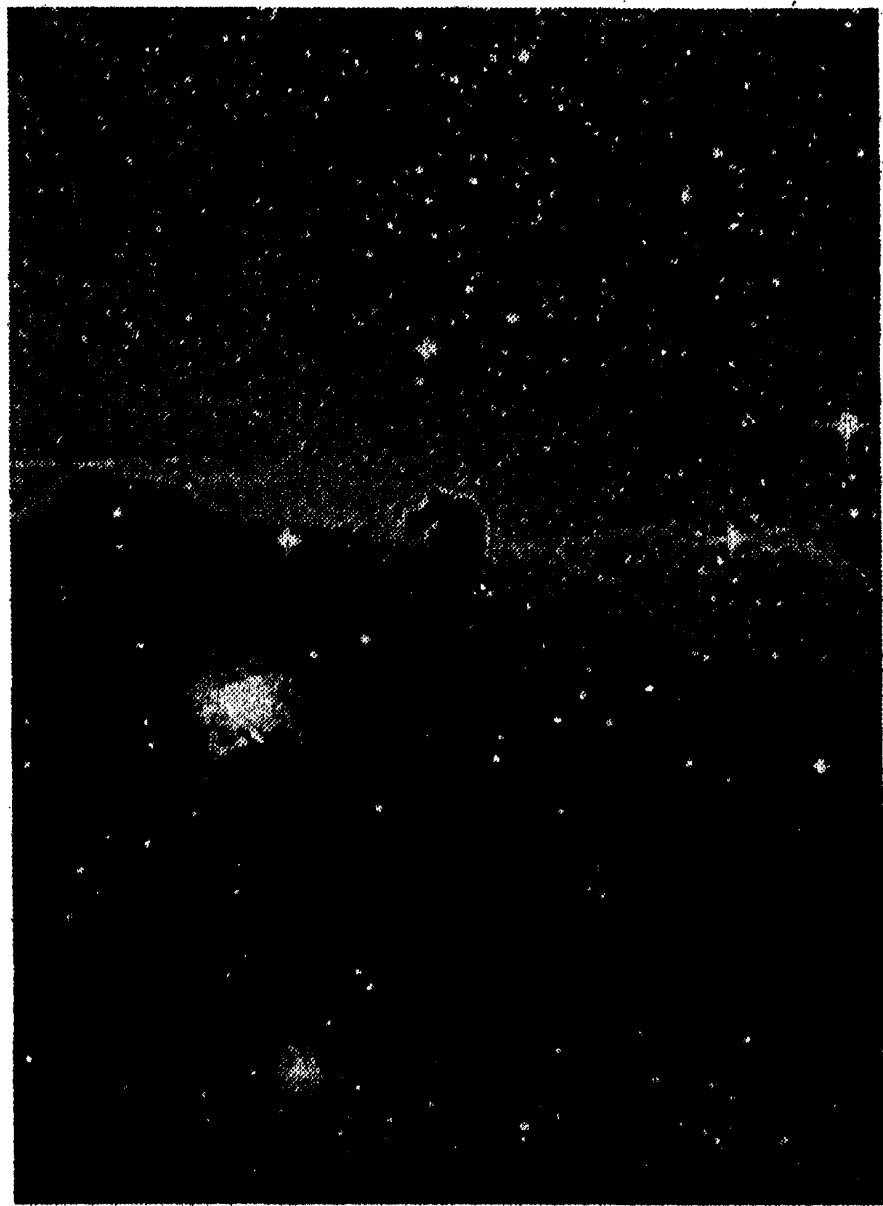


Рис. 4.9. Конская голова — облако газа и пыли к востоку от Пояса Ориона

Многие астрономы до начала XX века тоже не верили в существование темных туманностей: темные провалы, зияющие на фоне Млечного Пути, казались пустотами, областями, лишенными звезд, и настойчивым посетителям обсерваторий, желающим увидеть «бесконечное мировое пространство», показывались именно эти области. Мы знаем теперь, что как раз в них дальше нескольких сотен парсеков ничего не видно. Это огромные облака пыли, загораживающие более далекие звезды. Точнее говоря, это облака газа, прежде всего молекулярного водорода; масса пылинок не превышает сотых долей массы газа, но именно они рассеивают и поглощают свет звезд. Плотность темных туманностей и их расстояния

можно определить, сравнивая число звезд, видимых на их фоне и рядом; с ними иногда соседствуют яркие туманности, которые оказываются частью того же пылевого облака, освещенной близлежащей яркой звездой.

Хотя существование темных туманностей и говорило о присутствии в космическом пространстве поглощающей свет пыли, до 1930 г. большинство астрономов считали, что в свободных от этих туманностей областях межзвездное пространство прозрачно.

В. Струве в середине XIX века впервые попытался дать количественную оценку величины поглощения света. Он исходил из того, что данные «звездных черпков» (подсчетов звезд в избранных областях неба) В. Гершеля приводят к уменьшению численности звезд в единице объема с удалением от Солнца. Вероятность того, что Солнце оказалось в центре системы Млечного Пути, ничтожна (но именно так и считалось до работ Шепли), и можно как будто полагать, что блеск далеких звезд и их численность преуменьшаются из-за поглощения. Однако кажущееся падение звездной плотности с удалением от Солнца можно объяснить и тем, что неверен один из постулатов Гершеля — об одинаковости светимости звезд. В самом деле, на далеких расстояниях мы видим лишь звезды высокой светимости — гиганты и сверхгиганты, которых гораздо меньше, чем обычных звезд.

Много раз повторялась подобная история — то, что принималось за поглощение, можно было объяснить и без него. В 1895 г. Я. Каптейн нашел, что в полосе Млечного Пути звезды в среднем голубее, чем на больших галактических широтах, далеко от него. Он заключил, что вне Млечного Пути поглощение света больше. (Напомним, что поглощение приводит и к ослаблению блеска, и к покраснению звезд, подобно тому как краснеет и тускнеет заходящее Солнце, пробиваясь сквозь все больший слой воздуха и пыли.) Этот вывод неверен; дело просто в том, что в Млечном Пути больше горячих голубых звезд.

В 1909 г. тот же Каптейн обнаружил, что среди звезд одинаковых спектральных классов более голубые звезды имеют большее собственное движение, и, следовательно, ближе к нам. Более далекие звезды опять оказывались более красными. Однако же, поскольку видимые величины звезд каждой группы у Каптейна были схожи, его далекие звезды были гигантами, а в 1914 г. Адамс и Кольшюттер установили, что гиганты краснее, чем карлики того же спектрального класса. Это объясняется различием плотности их атмосфер: одна и та же степень ионизации, приводящая к одинаковому виду спектра, достигается в более плотных атмосферах карликов при больших температурах. Поглощение снова оказалось излишним.

Наконец, начиная с 1915 г., Х. Шепли убеждается в том, что в далеких — и в очень далеких — шаровых скоплениях встречаются весьма голубые звезды, и что, следовательно, поглощение в направлении на эти скопления ничтожно мало. Неудивительно, что отношение астрономов к межзвездному веществу было скептическим; все понимали, какие важные последствия может иметь поглощение света в пространстве, но до-

казательств его существования не было. По словам Артура Эддингтона, астрономы напоминали в этом отношении гостей, отказывающихся спать в комнате, где появляются призраки, и заявляющих: мы не верим в привидения, но мы их боимся!

Так продолжалось до 1930 г., когда Р. Трюмплер опубликовал результаты своих исследований рассеянных скоплений. Он построил диаграммы «спектр—величина» многих десятков скоплений и путем совмещения главных последовательностей определил расстояния скоплений. Он также расклассифицировал скопления по виду диаграмм, по богатству звездами и степени их концентрации к центру. Оказалось, что у скоплений одного класса, диаметры которых естественно считать одинаковыми, наблюдается систематическое увеличение линейных диаметров с ростом расстояния. Трюмплер не поверил в реальность этой зависимости характеристик скоплений от расстояний от нас — признаки выделенности нашего положения в пространстве всегда оказываются следствием наблюдательной селекции. Он предположил, что расстояния, полученные по диаграмме «спектр—светимость», систематически завышены и тем больше, чем дальше скопление, и причиной этого является межзвездное поглощение света. В самом деле, совмещение диаграмм дает модуль расстояния $m - M$, и если видимые величины ослаблены поглощением, расстояние получается преувеличенным. Трюмплер заключил, что межзвездное вещество располагается тонким слоем в плоскости Млечного Пути, — поэтому на шаровых скоплениях, расположенных далеко от этой плоскости, поглощение почти не сказывается. Он отметил, что плотность этого слоя пыли неравномерна, но в среднем поглощение растет с расстоянием. Это опровергало ту возможность, что поглощающее свет вещество находится в пределах скопления.

Влияние поглощения на оценки расстояния может быть очень большим; расстояние, составляющее на самом деле тысячу парсеков может быть оценено — если не учесть поглощение — в десятки тысяч парсеков. После работ Трюмплера борьба с поглощением света составляла едва ли не главное содержание работ по определению шкалы расстояний во Вселенной — до той поры, когда, к концу XX века, стали широко вестись наблюдения в далеком инфракрасном диапазоне, поглощение света в котором очень мало.

Коэффициент γ для перехода от избытка цвета к полному поглощению можно определить, зная закон межзвездного поглощения света (т. е. зависимость его от длины волны, определяемую характерным размером частиц межзвездной пыли), для чего нужны наблюдения в большом диапазоне длин волн и особенно в инфракрасной области. Другой способ состоит в построении зависимости между избытком цвета и видимым модулем расстояния для звезд скоплений; здесь требуются обычные трехцветные наблюдения. В самом деле, истинный модуль расстояния для всех звезд скопления одинаков; зависимость видимого модуля от избытка цвета SE является, понятно, следствием различного поглощения света для разных звезд. Мы имеем: $m_0 - M = m - \gamma \cdot SE - M$, откуда

$\gamma \cdot CE = m - M - (m_0 - M)$, и, значит, на диаграмме, изображающей зависимость избытка цвета от $m - M - \text{const}$ наклон прямой даст значение коэффициента γ . Все способы уверенно дают для ранних звезд значение γ от 3,1 до 3,3, причем, по-видимому, в этих пределах есть слабая зависимость от галактической долготы (т. е. от угла, отсчитываемого от направления на центр Галактики в ее плоскости), объясняющаяся скорее всего несколькими различающимися характеристиками частиц (или их ориентации, зависящей от магнитного поля). По-видимому, лишь вблизи горячих звезд возможны существенно большие значения этого коэффициента.

При большом поглощении значение коэффициента γ сильно влияет на определение расстояния, и в 1960-х гг. астрономы были в большой тревоге. Г. Джонсон на основании многоцветной фотометрии получал для разных областей неба сильно отличающиеся значения γ , достигающие до 6–8, а иногда и больше! Вальтер Бааде говорил незадолго до смерти, что не стал бы заниматься астрономией, если бы знал, что единого коэффициента для перехода от избытка цвета к полному поглощению не существует. Действительно, не зная поглощения, нельзя определить расстояния, и картина мира становится зыбкой, неуловимой... Однако и на этот раз, в соответствии с любимым изречением Эйнштейна, Господь оказался изощрен, но не злонамерен. Инфракрасные избытки цвета звезд с большим поглощением, которые Джонсон приписывал особенностям пылевых частиц в данном направлении, откуда и получались большие значения γ , оказались присущи самим звездам, точнее, тепловому излучению пылевых оболочек вокруг них.

* * *

С 1953 г. началось исследование рассеянных скоплений в системе *UBV*, и к настоящему времени более 600 из них охвачено фотометрией в этой системе. Уже первые работы показали, что эффект, замеченный Трюмплером, является общим правилом: тонкая цепочка на диаграмме «цвет—величина» для звезд скопления, соответствующая главной последовательности, на верхнем конце поворачивает вверх или даже вверх вправо (см. рис. 4.5).

В 1952 г. М. Шварцшильд и А. Сендидж дали объяснение этого явления. Звезды главной последовательности естественно отождествить с теми, в которых «горит» водород (из него на 70 % и состоят звезды). Это — наиболее многочисленные звезды, потому что стадия горения водорода самая продолжительная в активной жизни звезды. Время жизни звезды на данной стадии эволюции пропорционально ее массе и обратно пропорционально ее светимости, ибо от массы зависит запас ядерного горючего, а от светимости — темп, с которым оно расходуется. Но светимость пропорциональна кубу массы, так что массивные звезды эволюционируют быстрее звезд с меньшей массой. Отклонение вправо верхнего конца главных последовательностей скоплений можно теперь понять — наиболее массивные звезды скопления уже израсходовали часть своих запасов

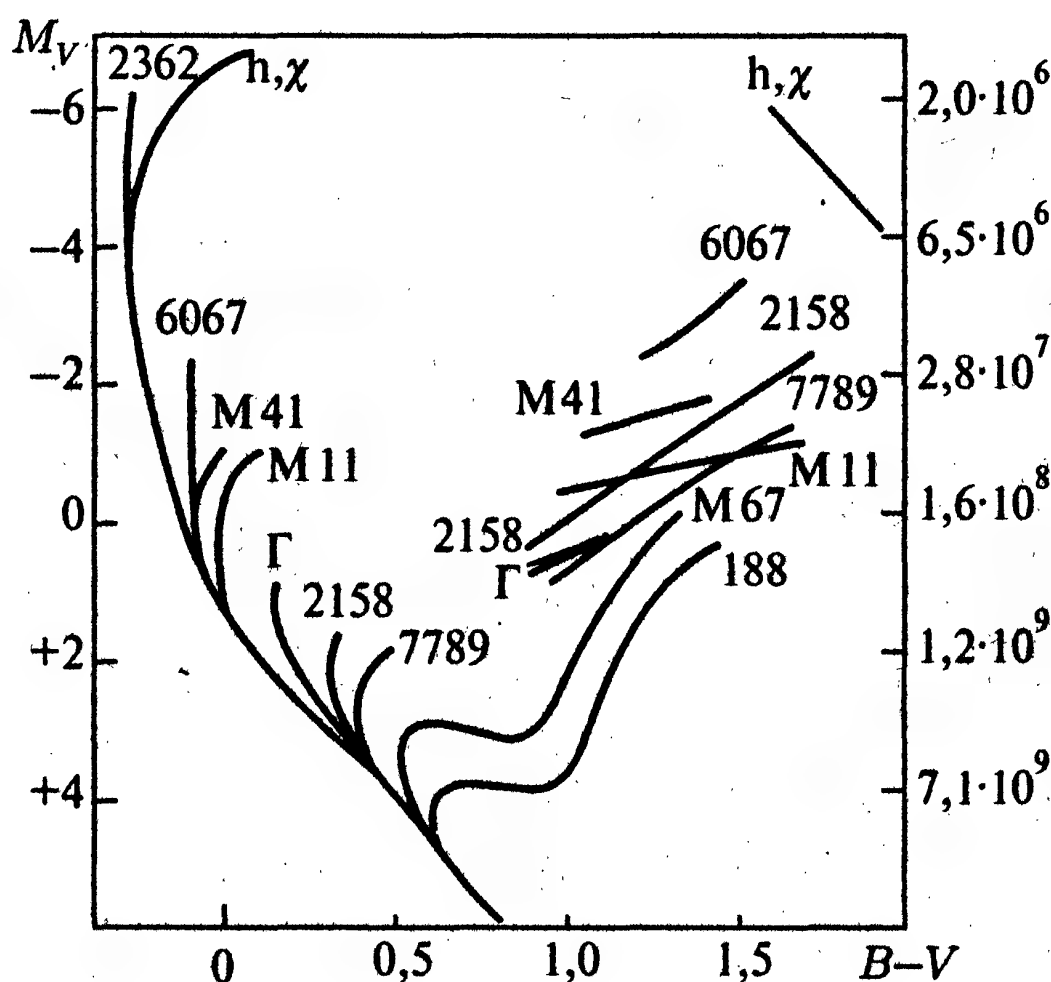


Рис. 4.10. Сводная диаграмма «цвет—светимость» для рассеянных скоплений Галактики. Указаны номера скоплений по каталогу NGC или Мессье, χ и h Персея и Гиады отмечены начальными буквами. Возраст скоплений (правая ось ординат) можно оценить по светимости ярчайших звезд, еще остающихся на главной последовательности

водорода и уклонились вправо вверх от своего начального положения. Сам же обрыв ГП на верхнем конце, очевидно, вызван тем, что еще более массивные звезды уже ушли вправо от ГП и наблюдаются теперь как красные гиганты. Чем ярче звезды верхнего конца ГП скопления, тем оно моложе. Разнообразие диаграмм скоплений можно объяснить в первом приближении одним только различием их возраста (рис. 4.10)²⁾.

Таким образом, главная последовательность скопления отнюдь не является путем, вдоль которого движутся звезды в процессе эволюции — эволюционным треком. Наоборот, эволюция совершается поперек полосы ГП, и наблюдаемая ГП скопления является изохроной — линией, на которой расположены звезды разных масс, но одного возраста. Звезды малых масс практически не начали своей эволюции, а звезды больших масс отошли от исходного положения, и тем дальше, чем больше их масса. Теперь понятно, почему ГП звезд поля является широкой полосой, достигающей 2^m , — она образована звездами разных возрастов, многие из которых успели далеко уйти от начального положения. И становится ясным, какие же части ГП надо совмещать для определения модуля расстояния — только те, где звезды не успели отойти вверх от исходного положения. Такой исходной, начальной главной последовательностью

²⁾ Строение звезд, источники их энергии и эволюция описаны в книгах С. А. Каплана «Физика звезд» (М.: Наука, 1977) и И. С. Шкловского «Звезды: их рождение, жизнь и смерть» (М.: Наука, 1984).

должна быть нижняя огибающая полосы главной последовательности, образуемой звездами поля.

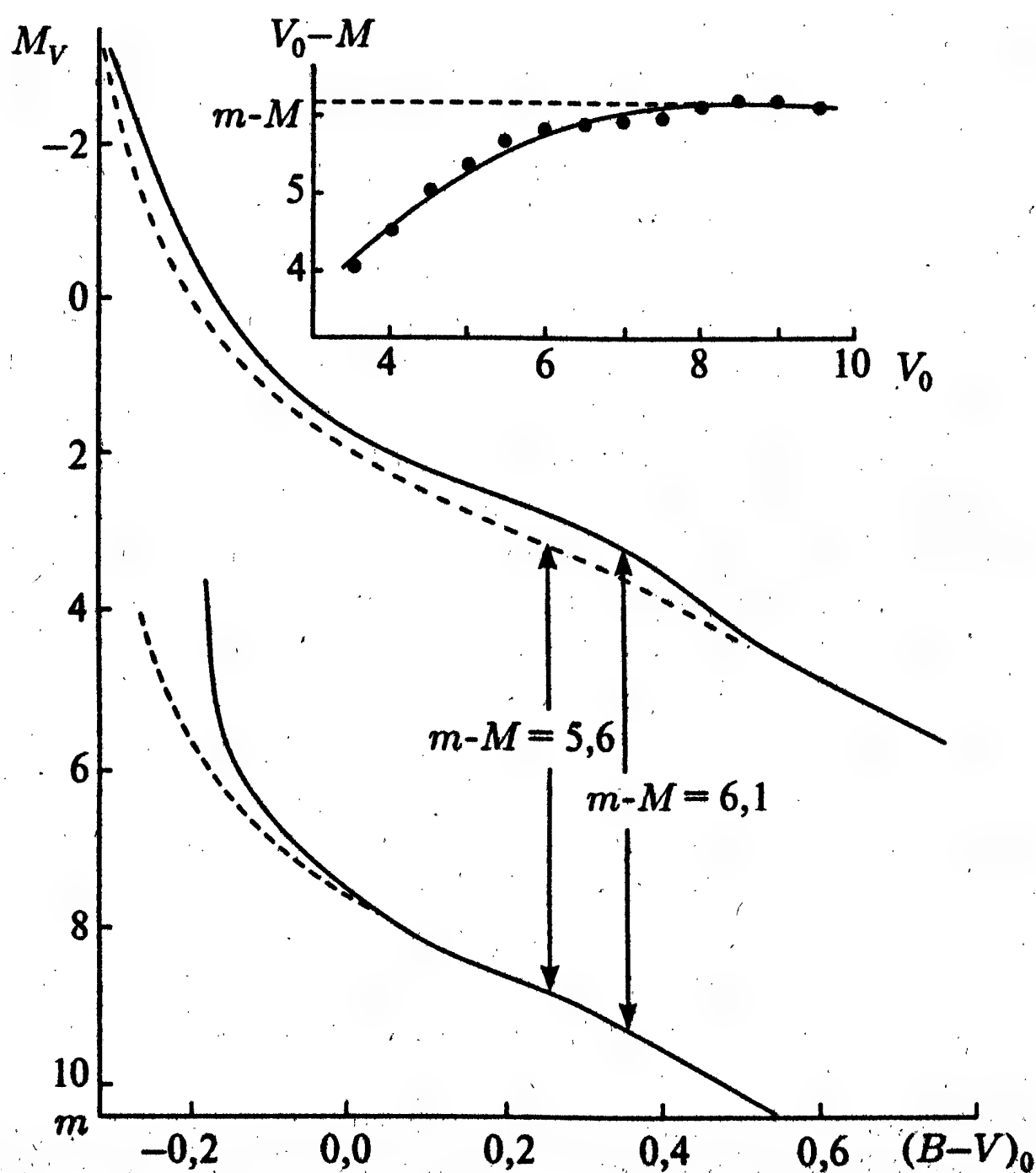


Рис. 4.11. Определение модуля расстояния скопления α Персея. Верхняя кривая — исходная главная последовательность Джонсона—Ириарте (сплошная линия) и Копылова (прерывистая), ей соответствуют ординаты в абсолютных величинах. Нижняя кривая — главная последовательность скопления α Персея, верхняя часть которой уклоняется от исходной главной последовательности, ей соответствуют ординаты в видимых звездных величинах. Величина сдвига, требуемого для совмещения непроэволюционировавшей части главной последовательности α Персея с верхней кривой, дает модуль расстояния. Откладывая разность между видимой и абсолютной величиной на главной последовательности как функцию видимой величины, можно получить кривую эволюционного отклонения (врезка); эта разность становится постоянной и равной модулю расстояния при переходе к достаточно слабым, непроэволюционировавшим от ИГП звездам. Кривая эволюционного отклонения позволяет определить модуль расстояния и тех скоплений, в которых измерены лишь звезды, ушедшие с ИГП

Введя понятие исходной главной последовательности (ИГП), Сэндидж и Джонсон получили в 1956 г. мощное средство определения расстояний. Они исходили из Гиад, расстояние которых, как мы видели, надежно определяется ввиду их близости. Откинув ярчайшие звезды

Гиад, отошедшие уже от ИГП, они совместили с ГП Гиад ГП более молодого скопления Плеяд. Поскольку Плеяды моложе, звезды, проэволюционировавшие уже в Гиадах, еще находятся на ИГП в Плеядах. Таким образом можно определить положение ИГП для звезд спектрального класса А. Используя еще более молодое скопление вокруг α Персея, можно получить абсолютные величины находящихся на ИГП звезд В. Метод определения модуля расстояния скопления по совмещению его ГП с ИГП можно понять из рис. 4.11.

Проблема точного определения положения ИГП долгое время оставалась дискуссионной, и споры не утихли и сейчас. Светимость звезды на ИГП зависит от содержания гелия (которое можно считать одинаковым во всех звездах) и более тяжелых элементов, которое может различаться в несколько раз и это может сказываться на результатах фотометрического определения расстояний звездных скоплений. В Гиадах содержание «металлов» (как астрономы называют все, что тяжелее гелия) заметно выше, чем в большинстве скоплений, в Плеядах несколько ниже. Вероятно поэтому ИГП, определенная И. М. Копыловым (1928–2000) и позднее П. И. Холоповым (1922–1988), проходила заметно ниже (рис. 4.11).

Запущенный в 1989 г. астрометрический спутник «Гиппаркос» получил положения около 120 000 звезд с точностью до тысячной доли секунды дуги. Стали возможными определения тригонометрического годичного параллакса звезд и Гиад, и Плеяд. Наблюдения и их обработка продолжались почти десять лет, поскольку спутник вышел не на расчетную орбиту. И к удивлению астрономов, оказалось, что модуль расстояния Плеяд по данным «Гиппаркоса» на $0^m,3$ меньше, чем получается по совмещению с ИГП.

Первое объяснение состояло в меньшем содержании тяжелых элементов в звездах Плеяд, — однако такие же звезды поля с надежными расстояниями не находились ниже ИГП. Возникло подозрение, что в определенных «Гиппаркосом» параллаксах на некоторых участках неба имеются ошибки, коррелирующие друг с другом вплоть до расстояний в $2-3^\circ$. Определение группового параллакса Плеяд с новыми значениями собственных движений привело к результату, очень близкому к полученному по фотометрическим данным, как широкополосным, так и среднеполосным. Возможно также, что на результате «Гиппаркоса» могла сказаться несферическая форма Плеяд. Даже самый фундамент шкалы расстояний во Вселенной нуждается еще в укреплении...

ВЕРСТОВЫЕ СТОЛБЫ ВСЕЛЕННОЙ

У людей разные звезды. Для путешественников звезды — указатели пути. Для других это только маленькие огоньки. Для ученых звезды — это проблемы... И все эти звезды немые.

Антуан де Сент-Экзюпери

Самыми важными являются цефеиды.

Харлоу Шепли

Сотни астрономов-специалистов и тысячи любителей исследуют переменные звезды. В четвертом издании Общего каталога переменных звезд, последний том которого опубликован в 1995 г., и в вышедших к 2002 г. дополнительных к нему списках насчитывается 37 471 звезда нашей Галактики, изменения блеска которых изучены достаточно для того, чтобы можно было определить тип переменности. 14 810 других звезд нашей Галактики вошли в Каталог звезд, заподозренных в переменности блеска. Вошли в Общий каталог и около 5 000 переменных звезд в ближайших галактиках. Составление каталогов переменных звезд, чем раньше занимались германские астрономы, после Второй мировой войны решением Международного астрономического Союза было поручено советским астрономам. Первое издание было создано в 1948 г. Б. В. Кукаркиным и П. П. Паренаго, затем к ним присоединились П. Н. Холопов и Ю. И. Ефремов, которого сменил в 1960 г. Ю. Н. Ефремов (т. е. автор), занимавшийся этой работой до 1973 г. Ныне составлением каталога руководит Н. Н. Самусь.

Перед коллективом московских «переменщиков» стоит тяжелая проблема. Число вновь открываемых переменных звезд растет в последнее десятилетие катастрофически быстро. В нашей Галактике и в Магеллановых Облаках их число уже перевалило за сотню тысяч. Это в основном побочный результат поисков явлений микролинзирования — кратковременного поярчания блеска звезды вследствие прохождения близ луча

света от нее компактного объекта, вроде нейтронной звезды или черной дыры. Получить надежные оценки количества таких объектов пока не удалось, но зато были получены, например, точные измерения блеска для 2 000 цефеид в Большом Магеллановом Облаке.

Тысячи переменных звезд, даже ярких, остаются малоизученными, и это едва ли не самая благодарная и полезная для науки сфера деятельности любителей астрономии¹⁾. Одна только Американская ассоциация наблюдателей переменных звезд насчитывает свыше 2 000 членов. Среди переменных звезд много уникальных объектов, находящихся на критических стадиях эволюции или составляющих двойные системы с компактными объектами. Вслед за любительскими наблюдениями, обнаруживающими интересные звезды, на них наводятся большие телескопы.

В XVIII веке наблюдателей переменных звезд было лишь двое. Это были землевладелец из Йорка Э. Пиготт и его друг, талантливый глухонемой юноша Джон Гудрайк, а наблюдали они семь известных тогда переменных, три из которых открыли сами. В 1783 г. Пиготт обнару-

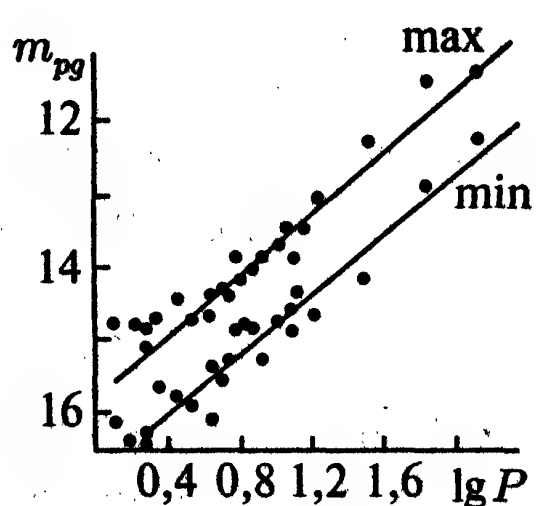


Рис. 5.1. Зависимость «период—светимость» для цефеид Малого Магелланова Облака в максимуме и минимуме блеска, построенная в 1912 г. Г. Ливитт

жил изменимость блеска η Орла с периодом в 7 дней, а в следующем году Гудрайк открыл переменность δ Цефея и нашел, что ее блеск возвращается к прежнему состоянию каждые 5 суток 8 часов 37 минут. К началу нашего века было известно более тридцати звезд, похожих на эти, — блеск их изменялся в среднем на звездную величину с периодом от двух-трех до сорока дней. Звезды этого класса были названы цефеидами. Их изучение и дало наилучший способ определения больших расстояний.

Гарвардская обсерватория в США по инициативе Э. Пикеринга первой приступила к систематическому фотографированию звездного неба, поискам и исследованию

по этим пластинкам переменных звезд. Отделение этой обсерватории в Перу среди других работ занималось изучением Магеллановых Облаков, сияющих на южном небе как изолированные кусочки Млечного Пути. В 1908 г. Генриетта Ливитт опубликовала каталог 1 777 переменных звезд, открытых ею в Малом Магеллановом Облаке по пластинкам, полученным в Перу с 1893 г. Для 16 из них она смогла определить периоды изменения блеска, которые оказались от 1 до 127 дней. «Стоит отметить, — писала Г. Ливитт, — что более яркие переменные имеют больший период». Эти слова отмечают начало пути, идя по которому, люди научились понимать язык звезд.

¹⁾ См. книгу Цесевича В. П. «Переменные звезды и их наблюдение» (М.: Наука, 1980) и брошюру автора «Переменные звезды» (М.: Знание, 1975).

Через четыре года Ливитт имела уже периоды 25 звезд и сопоставила их на графике с блеском в максимуме и минимуме (рис. 5.1). Современный вид этой зависимости изображен на рис. 5.2. Блеск цефеид оказался связанным с периодом линейной зависимостью, и Г. Ливитт заключила: «Так как эти переменные звезды, вероятно, находятся на одинаковом расстоянии от Земли, их периоды, очевидно, связаны с количеством излучаемого ими света», — т. е. со светимостью. Так появилась знаменитая зависимость «период—светимость». По-видимому, Ливитт понимала значение своего открытия — достаточно было бы знать светимость хотя бы одной такой звезды, чтобы для любой звезды данного типа можно было бы определить по периоду светимость и, сравнивая ее с видимым блеском, найти расстояние, как об этом рассказывается в главе 3.

Эйнар Герцшпрунг первым заставил работать зависимость «период—светимость» (П–С). Он понял, что переменные звезды, найденные Ливитт в Магеллановых Облаках, — это цефеиды, хорошо известные в окрестностях Солнца. Форма кривых блеска, амплитуды и периоды убедительно говорили об этом. Еще в 1907 г. Герцшпрунг установил, что цефеиды — звезды высокой светимости, сверхгиганты. В 1913 г. он по 13 звездам с известным собственным движением определил статистический параллакс цефеид и светимость, соответствующую среднему из периодов этих 13 звезд. Сравнивая видимые величины цефеид Малого Магелланова Облака с абсолютной величиной цефеид такого же периода, Герцшпрунг впервые определил расстояние Облака.

Генри Рассел и здесь мог стать соперником Герцшпрунга. В том же 1913 г. он также опубликовал статью о статистическом параллаксе цефеид, однако Рассел не догадался использовать данные о переменных звездах Магеллановых Облаков, не отождествил их с цефеидами.

Дальнейшая история зависимости П–С связана с именем Харлоу Шепли (1885–1972). В 1918 г. Шепли, тридцатитрехлетний сотрудник обсерватории Маунт Вилсон, предпринял новую калибровку зависимости П–С, выкинув две звезды из 13 цефеид Герцшпрунга, которые показались ему нетипичными. Далее он привлек переменные звезды в шаровых скоплениях. Они были двух видов: немногочисленные звезды с периодом 2–30 дней и десятки звезд типа RR Лиры с периодом 0,3–0,7 дня. Наклон зависимости П–С, построенной для этих звезд в каждом из трех шаровых скоплений, оказался очень близким к наклону, полученному Ливитт. Кривые блеска долгопериодических звезд в общем были достаточно похожи на кривые блеска цефеид, и Шепли сделал неверный шаг, последствия которого больше тридцати лет мучили астрономов: он счел, что светимость этих звезд такова же, что и у цефеид.

С середины 1920-х гг. размеры нашей Галактики, шкала расстояний во Вселенной и проблемы космологии оказались тесно связанными с нуль-пунктом зависимости «период—светимость», т. е. со значением светимости, принимаемым для цефеид данного периода. Начались бесчисленные попытки уточнения светимости цефеид. Проблема состоит в том, что звезды высокой светимости и цефеиды в том числе немногочи-

сленны, далеко отстоят друг от друга в пространстве, и даже ближайшие к Солнцу цефеиды (Полярная звезда, ζ Близнецов) столь далеки, что тригонометрические (годовые) параллаксы слишком малы, сравнимы с ошибками определениями. Даже результаты астрометрического спутника «Гиппаркос» не принесли окончательного решения проблемы.

Единая зависимость П–С Шепли предсказывала для звезд типа RR Лиры абсолютную величину около 0^m . В 1922 г. Каптейн и ван Рейн заключили, что поскольку эти звезды, многочисленные не только в шаровых скоплениях, но и в общем звездном поле, имеют большие собственные движения, то они должны быть близки к Солнцу. А так как они при этом еще и слабы, их светимость должна быть существенно меньшей, чем получалось у Шепли. Тогда Шепли ответил на критику, указывая, что он нашел в Малом Магеллановом Облаке 13 звезд типа RR Лиры, видимая величина которых в точности соответствовала принятой им абсолютной величине и расстоянию Облака. По иронии судьбы, обе стороны в споре оказались неправы: собственные движения, использованные голландцами, были очень неточны, а периоды звезд, найденные Шепли, ошибочны. Подлинные звезды типа RR Лиры были найдены в Магеллановых Облаках лишь в 1952 г.

В 1931 г. статистический параллакс цефеид заново определил один из крупнейших наших астрономов Б. П. Герасимович (1889–1937), возглавлявший Пулковскую обсерваторию и погибший среди миллионов жертв сталинских репрессий. Он исключил из рассмотрения звезды с кривыми блеска, напоминавшими цефеиды шаровых скоплений, и рассматривал только «классические» цефеиды — термин, широко употребляющийся и сейчас. Он впервые учел вращение Галактики, незадолго до этого открытое Оортом. Метод статистического параллакса предполагает, что у звезд нет преимущественного направления движения, а вращение Галактики как раз и означало существование такого направления. Герасимович пришел к выводу, что цефеиды на $1^m,0$ слабее, чем думал Шепли. Объяснялось это, однако, лишь тем, что при переводе расстояний и видимых величин в светимость не было учтено поглощение света.

Это было впервые сделано К. Лундмарком в том же году. У него получилось, что учет поглощения приводит к увеличению светимости цефеид на $1^m,2$ сравнительно с нуль-пунктом Шепли. Но поскольку, — заключил Лундмарк, — статистический параллакс, определенный Герасимовичем, указывает на почти такое же уменьшение светимости, нуль-пункт Шепли практически точен. К такому же выводу приводили новые определения собственных движений звезд типа RR Лиры.

Уверенность в этом у большинства астрономов после работы Ральфа Вилсона в 1939 г., в которой он использовал данные о собственных движениях 67 звезд типа RR Лиры и 157 цефеид. Он учел и вращение Галактики, и поглощение света и получил поправку к нуль-пункту Шепли в $-0^m,1$. И никто не заметил тогда, что величину поглощения света $0^m,85/\text{кпк}$ Вилсон взял из работы Джоя, который определил ее,

исходя из нуль-пункта Шепли! Астрономы никак не могли привыкнуть, что поглощение света может очень сильно повлиять на результат.

Но были и косвенные основания для беспокойства. Светимость шаровых скоплений и новых звезд туманности Андромеды оказывалась примерно на $1^m,5$ меньше, чем в Галактике. Сами размеры Галактики оказывались существенно больше, чем у туманности Андромеды — соседней звездной системы такого же типа. Конечно, никто не мог доказать, что размеры и светимости должны быть одинаковыми, но гипотеза о близости характеристик объектов одного класса подтверждалась не раз. Вальтер Бааде со 100-дюймовым рефлектором обсерватории Маунт Вилсон тщетно пытался уничтожить расхождение улучшением шкалы звездных величин в туманности Андромеды. Оно исчезло бы, если цефеиды оказались на $1^m,5$ ярче, чем по Шепли, — модуль расстояния туманности Андромеды стал бы тогда на $1^m,5$ больше.

Существенно другой результат был получен в работе А. Минёра, французского астронома, друга А. де Сент-Экзюпери. Опубликованная в 1944 г., эта работа осталась незамеченной. Минёр уделил особое внимание поглощению света, которое он определил из условия, что среднее расстояние цефеид от галактической плоскости не должно зависеть от расстояния от Солнца. Полученная им поправка к нуль-пункту, $-1^m,5$, близка к современному значению, но, как указывает Бааде, переделка работы Минёра с современной величиной скорости движения Солнца дает поправку в $-0^m,8$.

Тщательный учет межзвездного поглощения был проведен Б. В. Кукаркиным (1909–1977), который в 1949 г. радикально переработал данные Вилсона. Он получил поправку к нуль-пункту Шепли в $-0^m,5$ и его зависимость П–С (по данным о Магеллановых Облаках) претерпевала излом близ периода в 9 дней.

Но эти и другие указания на необходимость увеличения светимости цефеид не привлекали внимания до 1952 г., когда Вальтер Бааде объявил, что он не смог найти в М 31 звезд типа RR Лиры, несмотря на использование 200-дюймового рефлектора. Более того, он даже и не пытался их искать — сразу же стало ясно, что это безнадежно. Ярчайшие красные гиганты, типичные для шаровых скоплений, появились только близ предела пластинки у $22^m,8$. Из диаграммы «цвет—светимость» шарового скопления М 3, только что построенной Алланом Сендиджем по заданию Бааде, было видно, что эти звезды на $1^m,5$ ярче звезд типа RR Лиры. Модуль расстояния М 31, определенный по цефеидам, составлял $22^m,7$, а по звездам типа RR Лиры он должен был быть, таким образом, $22^m,8 + 1^m,5 = 24^m,3$. Итак, не было другого выхода, как признать, что либо звезды типа RR Лиры слабее, чем $M = 0$, либо же цефеиды ярче, чем это дает нуль-пункт Шепли. Бааде счел, что абсолютная величина звезд типа RR Лиры ближе к истине: их собственные движения больше, а поглощение света меньше на них влияет. Увеличение модуля расстояния М 31 к тому же снимало различие в светимости шаровых скоплений и новых звезд Галактики и туманности Андромеды.

Вальтер Бааде выступил с этим сообщением на заседании Генеральной ассамблеи Международного Астрономического союза в августе 1952 г. На этих ассамблеях астрономы всего мира раз в три года обсуждают важнейшие задачи и результаты своих исследований. И не успел Бааде сойти с трибуны, как поднялся А. Теккерей из Радклиффовской обсерватории в Южной Африке и сказал, что недавно он обнаружил три звезды типа RR Лиры в шаровых скоплениях Малого Магелланова Облака. И блеск их оказался не $17^m,4$, как это должно было быть при нуль-пункте Шепли, а $18^m,9$. Различие снова составило $1^m,5$. Сомнений больше не было, астрономы 40 лет ошибались в оценке светимостей своих самых важных звезд! И ошибались примерно вдвое в оценке всех расстояний, основанных на цефеидах, т. е. в расстояниях других галактик. Это удвоение масштабов Вселенной имело огромные последствия для космологии, о чем еще будет речь.

После 1952 г. интерес к проблеме резко возрос, за пять лет появилось более двух десятков статей о светимостях цефеид. И снова астрономы оказались конформистами: теперь уже господствовала тенденция подтверждать выводы Бааде. Когда-нибудь наука о науке займется анализом этого любопытнейшего явления — бессознательной тенденции ученых подтверждать результат авторитетного специалиста. Пожалуй, причина этого в астрономии — скудность наблюдательных данных, большие их ошибки и вместе с тем — сравнительное обилие способов их обработки и побочных факторов, которые можно учитывать по-разному. Если бы Вилсон, взяв величину поглощения света у Джоя, получил бы светимость цефеид, резко расходящуюся с данными Шепли, Наверное, он стал бы искать причину этого. Но его результат подтвердил выводы Шепли, и Вилсон так и не заметил порочного круга.

Среди несогласных с Бааде был П. П. Паренаго (1906–1960), глава московской звездно-астрономической школы. Исходя в основном из нового определения статистического параллакса цефеид, проведенного в 1954 г. А. Блаау и Г. Морганом, которые отобрали для этого 18 звезд с наилучшими собственными движениями, он получил поправку нуль-пункта Шепли в $-1^m,0$. Паренаго опирался также на новое значение светимости звезд типа RR Лиры — тщательный анализ собственных движений звезд привел Е. Д. Павловскую к выводу, что их абсолютная величина составляет не $0^m,0$, а $+0^m,5$. Тем самым сохранялась разница в $1^m,5$, обнаруженная Бааде.

* * *

Проблема стала общеизвестной, и это помогло ее решению. В 1955 г. Джон Ирвин, занимаясь на Капской обсерватории фотоэлектрической фотометрией южных цефеид, обнаружил, что яркая цефеида S Наугольника окружена многочисленными голубыми звездами. Заглянув в звездный атлас, Ирвин увидел, что цефеида «сидит» в рассеянном звездном скоплении NGC 6087. Вскоре, так же случайно, Ирвин обнаружил, что U Стрельца расположена в центре скопления M 25. Это была большая

удача! Очевидцы надолго запомнили, как блестели глаза Ирвина, когда он рассказывал об этом сотрудникам обсерватории во время традиционного утреннего чая. В самом деле, ведь методы определения расстояний рассеянных скоплений были уже достаточно надежны.

(Скопление М 25 — хороший объект летнего неба, особенно в южных широтах. Яркая желтая цефеида, окруженная более слабыми голубыми звездами главной последовательности скопления, являет прекрасную картину — особенно если сознаешь ее значение.)

В том же году в Москве П. Н. Холопов занимался скрупулезной работой сравнения положения на небе рассеянных скоплений и переменных звезд. И среди многих случаев попадания переменной звезды в скопление он особо отметил десяток цефеид. Проанализировав скудные тогда данные об этих цефеидах и скоплениях (фотоэлектрическая фотометрия только начиналась), Холопов пришел к выводу, что многие из этих цефеид могут быть физическими членами скоплений. В начале 1956 г. он сдал в печать большую статью с анализом связи переменных звезд и скоплений, где говорилось и о цефеидах. И в том же году появилась заметка Ирвина, а в следующем — сообщения Крафта и ван ден Берга. Крафт сравнивал координаты скоплений и цефеид, а ван ден Берг искал скопления вокруг цефеид на фотографиях Паломарского атласа неба. Большинство найденных ими в скоплениях цефеид уже были в списке Холопова, а его статья все еще была в печати и вышла лишь в 1958 г.

Однако и Холопова и Ирвина опередил П. Дойг, и опередил на 30 лет! Еще в 1925 г. он знал, что U Стрельца и S Наугольника входят в рассеянные скопления, и предлагал с помощью зависимости «период—светимость» определять расстояния скоплений. Поистине, новое — это хорошо забытое старое.

Но как доказать, что цефеида — член скопления, а не находится ближе или дальше его? Критерии, позволяющие судить об этом, сводятся вкратце к следующему: малая вероятность случайного совпадения положения на небе, близость лучевых скоростей скопления и цефеиды, близость собственных движений (правда, почти всегда они столь малы, что этот критерий не работает), «разумность» светимости и показателя цвета цефеиды, получаемых в гипотезе о ее принадлежности к скоплению. Наконец, это положение цефеиды на диаграмме «цвет—светимость» скопления: во всех надежных случаях физической связи со скоплением цефеида оказывалась на $1-2^m$ ярче самых ярких звезд главной последовательности скопления. Это дало основание для предположения, что цефеиды — потомки массивных звезд, уже покинувших ГП. Гипотеза о происхождении цефеид из В-звезд находит подтверждение и в удивительном сходстве распределения в пространстве и движений этих типов звезд. Изучение цефеид проливает свет и на поздние стадии эволюции массивных звезд.

В 1957–1961 гг. пять цефеид в скоплениях тщательно изучили астрономы обсерваторий Маунт Вилсон и Маунт Паломар. Результаты были подытожены Р. Крафтом, который подтвердил увеличение на $1^m,5$ светимости цефеид, предложенное Бааде. Но когда в 1965 г. И. М. Копылов

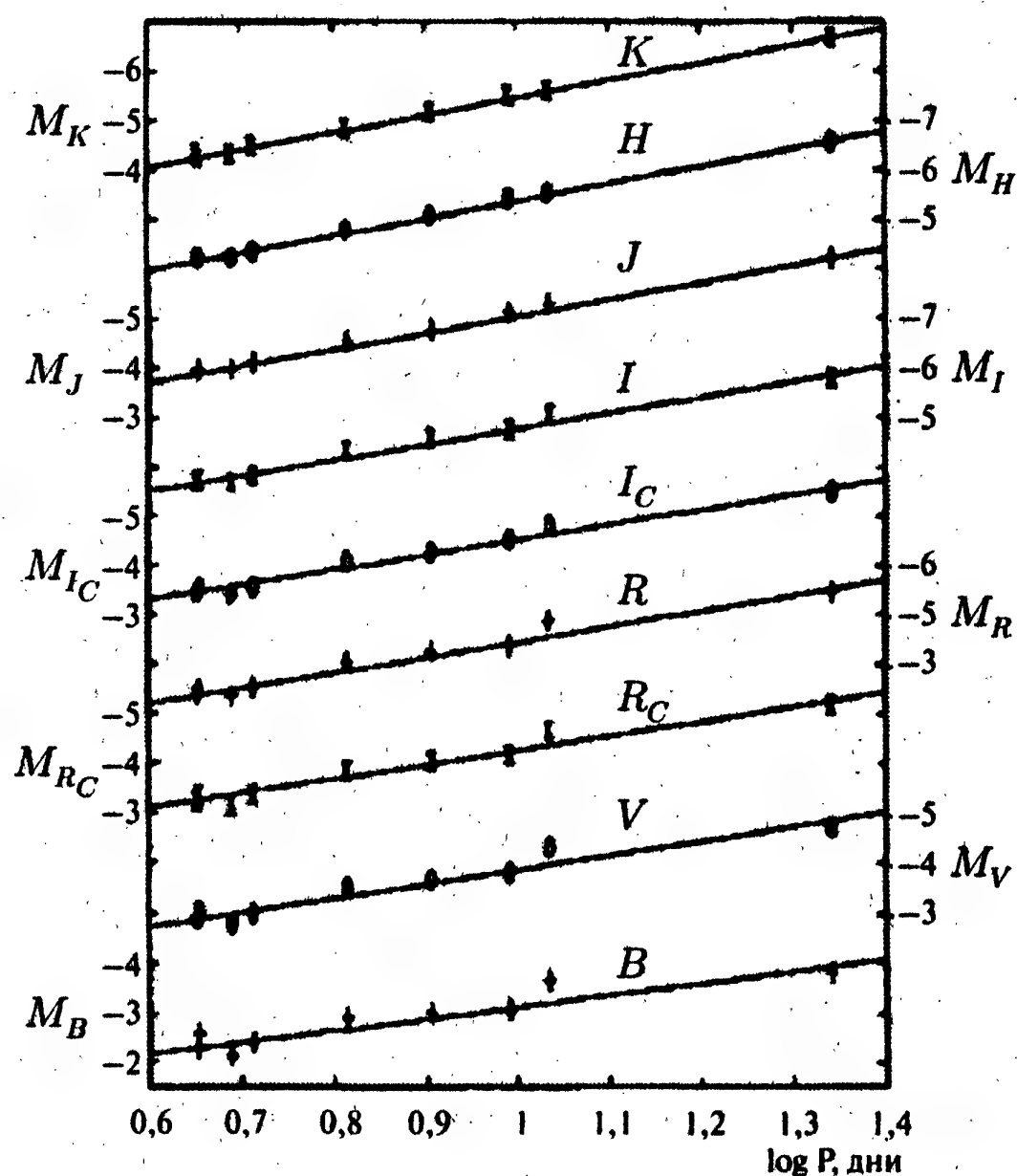


Рис. 5.2. Многоцветная зависимость «период—светимость», построенная по цефеидам, принадлежащим к рассеянным скоплениям и звездным ассоциациям нашей Галактики. Данные Л. Н. Бердникова, О. В. Возяковой и А. К. Дамбиса, 1998 г.

совместно с автором этой книги пересмотрели данные о цефеидах в скоплениях, они подтвердили поправку Паренаго, т. е. увеличение светимости лишь на $1^m,0$ от нуля-пункта Шепли. Это было вызвано тем, что для определения расстояний использовалась исходная главная последовательность Копылова. Поскольку скопления с цефеидами далеки и слабые их звезды не измерены, пришлось пользоваться верхней частью этой последовательности, проходящей на $0^m,5$ ниже ИГП Джонсона—Ириарте, которой пользовался Крафт. Модули расстояний и, следовательно, светимости получились на $0^m,5$ меньше.

Таким образом, проблема светимости цефеид стала на некоторое время проблемой шкалы расстояний рассеянных скоплений. В 1985 г. Л. Н. Бердников и Ю. Н. Ефремов, используя исходную главную последовательность П. Н. Холопова, вновь получили меньшую светимость для нуля-пункта зависимости «период—светимость», и примерно такое же значение получил Е. Шмидт, опиравшийся на главную последовательность Плеяд и узкополосную фотометрию. Однако стало ясно, что результат зависит и от отбора звезд, и от учета поглощения света, и от принимаемого наклона зависимости «период—светимость», — в скоплениях Галактики нет цефеид большого периода. Несколько долгопериодических молодых цефеид есть в ассоциациях, но их расстояния менее надежны.

Возможность брать тот же наклон, что и в Большом Магеллановом Облаке, не доказана, он может зависеть от химического состава. На рис. 5.2 изображена зависимость «период—светимость» для разных длин волн, полученная в 1996 г. Л. Н. Бердниковым, О. В. Возяковой и А. К. Дамбисом по цефеидам в скоплениях и ассоциациях Галактики без привлечения данных о ее наклоне. Очень трудно решить, какой выбор является лучшим.

К сожалению, астрометрический спутник «Гиппаркос» не сумел дать окончательный ответ на вопрос о нуль-пункте зависимости «период—светимость». Разные авторы, используя различающиеся методы учета ошибок определений годовых параллаксов с помощью этого спутника, получали заметно расходящиеся результаты.

Новые перспективы открывает начинающееся применение интерферометрических методов. Для нескольких звезд можно уже воочию наблюдать изменения углового диаметра и, сопоставляя их с изменениями лучевых скоростей и блеска, оценить расстояние, хотя и здесь еще много подводных камней. Используя этот метод, Т. Нордгрэн и др. в 2000 г. получили для δ Цефея расстояние 262 ± 6 пк, а тригонометрический параллакс по данным «Гиппаркоса» и лучших наземных измерений дает $278 (+48/-35)$ пк.

Результаты не слишком радуют. Исследователи цефеид сражаются с гидрой, у которой на месте отрубленной головы вырастает новая. Однако возможная ошибка составляет теперь не $1^m,5$, как было обнаружено в 1952 г., а не более $0^m,3$.

* * *

При исследовании переменных звезд, и в том числе цефеид, важные результаты можно получить и без больших телескопов. Около половины из двух десятков цефеид — членов скоплений, были впервые исследованы или приписаны к скоплениям в Москве, и среди них наиболее интересные и трудные случаи — SE Кассиопеи в NGC 7790 и V 367 Щита в NGC 6449. Использовались весьма скромные инструменты — 70-сантиметровый рефлектор и 40-сантиметровый астрограф, но в этих исследованиях мы опередили владельцев крупнейших тогда телескопов мира.

Загадочные полупериодические колебания блеска SE Кассиопеи долгие годы не поддавались расшифровке, пока в 1949 г. Г. А. Старикова, будучи на студенческой практике в Абастуманской обсерватории, не установила с помощью визуальных наблюдений на 40-сантиметровом рефракторе, что это двойная звезда с расстоянием между компонентами в $2'',3$, причем каждая звезда пары является цефеидой и периоды их близки. С 1958 г. было известно, что SE Кассиопеи находится в пределах рассеянного скопления NGC 7790, но расстояние между компонентами звезды существенно меньше, чем диаметр диафрагмы фотоэлектрического фотометра, и двойная цефеида оставалась в фотометрическом отношении неизученной. В 1963 г. П. Н. Холопов включил SE Кассиопеи в программу фотографических наблюдений 70-сантиметрового рефлектора ГАИШ на Ленинских горах в Москве, и в 1965 г. мы с ним смогли опре-

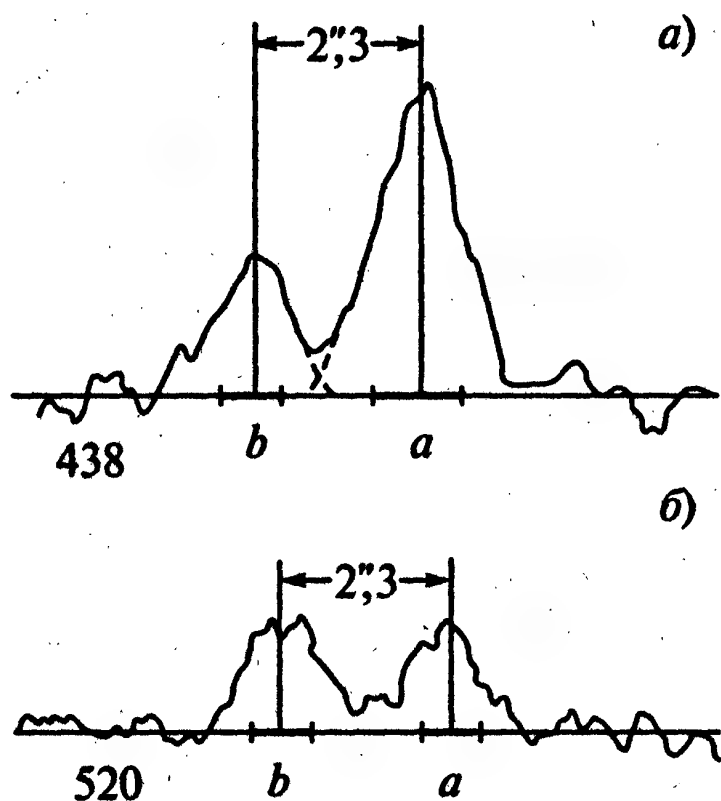


Рис. 5.3. Фотометрические разрезы компонентов СЕ Кассиопеи *a* и *b* на снимках в желтых лучах, полученных в 1964 г. на 70-сантиметровом рефлекторе ГАИШ в Москве. Диаметр диафрагмы ирис-фотометра, отмеченный горизонтальными отрезками, меньше диаметра изображений звезд; а) экспозиция 2 мин, июль, б) экспозиция 1 мин, август

периода СЕ Кассиопеи я проверил по серии наблюдений на 40-сантиметровом астрографе в Крыму — и не напрасно, авторитетные астрономы находили для него неверное значение. (Это были С. Гапошкин и С. Пейн-Гапошкин...)

Таким образом, довольно бедное скопление NGC 7790 содержит целых три цефеиды — единственный такой случай в нашей Галактике, и он нуждается в объяснении. Периоды этих цефеид (около 5 дней) близки к среднему в Галактике значению, само наличие которого объясняется, очевидно, тем, что при соответствующих массах и возрастах стадия эволюции звезды, когда она становится цефеидой, является наиболее продолжительной. Дело, по-видимому, в том, что возраст NGC 7790 как раз таков, что участки эволюционных треков, соответствующие более медленной эволюции, находятся как раз в пределах полосы неустойчивости на диаграмме Г—Р, попадая в которую, звезда становится цефеидой (см. главу 8).

Следует обратить внимание и на ничтожную вероятность случайности того обстоятельства, что две ярчайшие звезды скопления составляют двойную систему цефеид, да к тому же с близкими периодами. Это означает, что возраст и массы обеих этих звезд весьма близки, и этот факт может быть важным для понимания процесса звездообразования в скоплениях.

Интересен и случай V 367 Щита. После обнаружения в 1963 г. переменности блеска этой звезды, находящейся в рассеянном скоплении

делить надежные параметры кривых блеска отдельно для каждого компонента — в лучшие ночи в конце лета изображения на пластинке были достаточно хороши для того, чтобы их можно было измерить по отдельности на ирис-фотометре (рис. 5.3 и 5.4). Наши результаты говорили о том, что оба компонента СЕ Кассиопеи являются членами NGC 7790; через четыре года они были полностью подтверждены А. Сендиджем и Г. Тамманом, работавшими на 5-метровом рефлекторе на Маунт Паломар. Наши и их величины B совпали с точностью до $0^m,01$, а величины V — до $0^m,1$. В скоплении нет достаточно ярких желтых звезд, и приходилось и нам, и им пользоваться кривой блеска цефеиды СЕ Кассиопеи, также члена NGC 7790. Это был, наверное, первый случай в истории астрономии, когда в качестве фотометрического стандарта использовалась переменная звезда, — я и по сей день горжусь этой находкой. Значение пе-

NGC 6449, автор начал фотографирование этой области на 40-сантиметровом астрографе Крымской станции ГАИШ, но неоднократные попытки определения периода оставались безуспешными — и немудрено, периодов у этой звезды оказалось целых два! В 1967 г. мы совместно с П. Н. Холоповым пришли к выводу, что звезда пульсирует одновременно с основным периодом и с обертоном, и нашли для основного колебания период в 6,2930 дня. Немало помогли нам оценки блеска этой звезд, проведенные незабвенным В. П. Цесевичем на пластинках Симеизской обсерватории.

Однако столь авторитетные астрономы, как Г. Тамман и С. ван ден Берг, не согласились с нами. Они получали периоды около 5 дней, выкидывая часть наблюдений или получая патологическую кривую блеска. Тем не менее в 1975 г. мы подтвердили наличие у звезды двух периодов и для вторичного периода нашли значение 4,3849 дня. В 1978 г. С. ван ден Берг, Б. Мадор и Р. Стоби во всех деталях подтвердили эти наши выводы. Единственная цефеида с двумя модами пульсаций, являющаяся членом скопления — важный объект для проверки теории пульсации звезд, основы которой были заложены С. А. Жевакиным.

Эти результаты хорошо иллюстрируют справедливость утверждения, что время малых телескопов и массовых исследований переменных звезд не прошло. Цефеиды эволюционируют, изменяются их периоды; на наших глазах Полярная звезда, ближайшая, хотя, к сожалению, не типичная цефеида, вековым образом уменьшает амплитуду изменения блеска — неужели она на наших глазах уходит из полосы неустойчивости? Во всяком случае, одна из цефеид, открытых Хабблом в галактике Треугольника, является ныне звездой постоянного блеска.

Поэтому необходимо наблюдать вновь и вновь даже яркие цефеиды — для слежения за их периодами. Этого не понимают иногда и хорошие астрономы. Ведь систематическое изменение периода цефеиды, как надежно установлено Л. Н. Бердниковым в результате многолетних наблюдений, отражает эволюционное изменение температуры звезды и перемещение ее вдоль эволюционного трека. Столь малые изменения показателя цвета мы еще не можем зафиксировать, а накопление наблюдений многих циклов изменения блеска позволяет уловить ничтожные изменения периода.

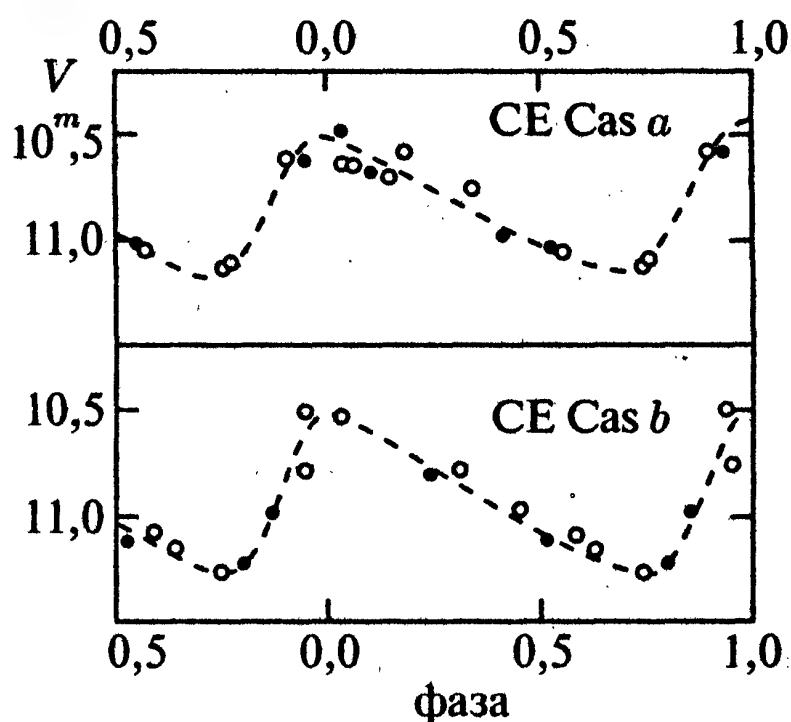


Рис. 5.4. Кривые блеска компонентов CE Кассиопеи в желтых лучах (V). На оси абсцисс — фаза в долях периода, отсчитываемая от ближайшего к данному моменту максимума блеска

ОТКРЫТИЕ НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ

Я неизменно старался сохранять свободу мысли, достаточную для того, чтобы отказаться от любой, самой излюбленной гипотезы ...как только окажется, что факты противоречат ей.

Чарлз Дарвин

*Мир познанный есть искажение мира...
Познание должно окостенеть,
Чтоб дать жерло и направление взрыву.*

Максимилиан Волошин

В 1921 г. известный голландский астроном Якоб Каптейн посетил в Бонне своего друга, астрометриста и исследователя звездных скоплений Ф. Кюстнера, и поделился с ним своими соображениями о строении звездной системы Млечного Пути. Соображения эти показались Кюстнеру довольно гипотетичными, и он спросил Каптейна — не рано ли еще прибегать к умозрительным заключениям, не подождать ли, пока накопится больше наблюдательных данных. Реакция Каптейна на эти слова навсегда запомнилась Кюстнеру. Каптейн пришел в ярость. Он топнул ногой и закричал: «Я не могу ждать! Я хочу знать это теперь!»

Схема строения Млечного Пути, предложенная Каптейном, представляла собой двояковыпуклую линзу диаметром около 20 000 пк, на расстоянии всего 650 пк от центра которой находится Солнце. Последняя работа Каптейна, в которой он отстаивал эту схему, вышла в 1922 г., в этом же году он и умер, убежденный в своей правоте. А прав оказался Шепли, с которым Каптейн так яростно спорил... Что может сравниться с трагедией ученого, который после десятилетий неукротимого стремления к знанию создает наконец цельную картину мироздания, но тут же замечает появление другой точки зрения, и видит, как она приобретает все новых сторонников. Вспомним о Лоренце, который жалел, что не умер прежде, чем появилась квантовая механика. А ведь такова судьба каждого конкретного достижения науки, каждого ученого. Проходит какой-нибудь десяток лет, и его работа остается интересной — в лучшем случае — лишь для историков науки, из ее праха вырастает новое знание. Среднее время жизни хорошей научной статьи, в течение которого

на нее встречаются ссылки в литературе, — около десяти лет. В научных журналах не найти теперь ссылок на Ньютона или Лапласа, разве что в исторических обзорах. И редко уже встречаются имена Каптейна и даже Шепли или Бааде. Их работы легли кирпичиками в здание, которое никому не суждено увидеть завершенным.

«Вселенная Каптейна» была построена им в принципе таким же методом, как и «вселенная Гершеля», на которую она и похожа. Это были подсчеты звезд в разных направлениях и определение с их помощью пространственной плотности звезд на разных расстояниях от Солнца. В отличие от Гершеля, Каптейн уже учитывал, что звезды могут быть разной светимости. Расстояния, очень грубые, он находил по статистической зависимости между параллаксом, видимой величиной и собственным движением. Для определения этих характеристик Каптейн в 1906 г. предложил план «избранных областей» — кооперативных исследований всевозможных характеристик всех звезд в 206 площадках, равномерно распределенных по небу. Во многих отношениях этот план опередил свое время, и в полной мере он не выполнен и поныне. Подсчеты Каптейна показали, что с удалением от Солнца звезд в единице объема становится все меньше. Мы знаем теперь, что виновато в этом поглощение света.

Как это часто бывает, среди многих противоречивых мнений задолго до окончательного торжества истины было и правильное. Были свои предтечи и у Харлоу Шепли. Еще Джон Гершель, сын знаменитого английского астронома, исследователь южного неба, за 80 лет до Шепли обратил внимание на то, что почти все шаровые скопления сосредоточены в одной половине неба. В 1909–1917 гг. Болин, Хинкс, Герцшпрунг отмечали концентрацию шаровых скоплений в созвездии Стрельца, а Перрин указывал, что наличие в том же направлении очень ярких облаков Млечного Пути вряд ли может быть случайным совпадением. Но выиграл сражение Шепли, и галактоцентрическая революция справедливо связывается с его именем.

Х. Шепли в серии работ 1916–1919 гг. пришел к выводу, что находящийся в направлении созвездия Стрельца центр системы шаровых скоплений есть одновременно и центр всей системы Млечного Пути. Симметричное распределение скоплений вокруг плоскости Млечного Пути и положение центра скоплений в этой плоскости убеждало Шепли в этом. Концентрацию шаровых скоплений в Стрельце (где на 2 % площади небесной сферы приходится треть всех скоплений) Шепли объяснил повышением пространственной плотности скоплений к центру системы и тем, что Солнце находится от этого центра очень далеко. Насколько далеко — ответ дали цефеиды.

Мы знаем сейчас, что переменные звезды с периодом в 2–30 дней в шаровых скоплениях — не цефеиды, точнее говоря, совершенно особая разновидность цефеид. Но Шепли применил к ним зависимость «период—светимость» и обнаружил, что светимость переменных звезд типа RR Лиры во всех скоплениях одинакова и составляет около 0^m . Теперь он мог найти расстояния для десятка скоплений. Далее он заметил,

что разность видимых величин звезд типа RR Лиры и ярчайших красных звезд шаровых скоплений мало изменяется от скопления к скоплению и составляет в среднем $1^m,5-2^m,0$. Теперь достаточно было измерить звездную величину ярчайших звезд шарового скопления, чтобы определить его расстояние. Таким образом Шепли определил положение в пространстве семи десятков шаровых скоплений. Расстояния их казались огромными; ближайшее шаровое скопление все еще было много дальше самого далекого рассеянного скопления. До центра системы шаровых скоплений — т. е. до центра системы Млечного Пути — было 50 000 световых лет. Солнце оказалось не в центре мироздания, а на его далекой окраине, размеры нашей звездной системы удесятились!

Цефеиды шаровых скоплений имеют другое происхождение, другую массу и другую светимость, чем классические цефеиды галактического поля или рассеянных скоплений; мы знаем теперь, что они слабее их примерно на $1^m,5$. Но примерно на столько же ошибся Шепли в оценке светимости классических цефеид, занизив ее, а принятые им светимости цефеид шаровых скоплений и звезд типа RR Лиры ошибочны не более, чем на $0^m,5$. Это совпадение долго маскировало ошибочность нуля-пункта зависимости «период—светимость». Получая каждый раз для звезд RR Лиры светимость в $0^m,0$, исследователь приходил к выводу, что ноль-пункт Шепли хорош, и полученные им светимости цефеид верны. Существование двух родов цефеид стало доказанным только после работ Вальтера Бааде и Б. В. Кукаркина в 1944–1952 гг.

Я. Каптейн совместно с П. ван Рейном выступил против Шепли, именно пытаясь доказать, что звезды типа RR Лиры намного слабее, чем думал Шепли; об этом говорилось в предыдущей главе. Еще раньше, 26 апреля 1920 г., в Национальной Академии наук в Вашингтоне состоялся диспут, который известен в истории астрономии как «великий спор» Харлоу Шепли и Гебера Кертиса.

Обе стороны соглашались с тем, что характеристики (и прежде всего светимость) звезд одного класса повсюду во Вселенной одинаковы. Но какие звезды можно считать принадлежащими к одному классу? Отражаются ли на их светимости некоторые различия характеристик цефеид в разных галактиках?

Ответ на такого рода вопросы неясен и поныне, его могут дать только детальные исследования. В первой части диспута в центре внимания были оценки расстояния наиболее хорошо изученного шарового скопления М 13 в созвездии Геркулеса. Шепли оценивал его в 36 000 световых лет, Кертис считал, что оно раз в десять ближе. Но тогда светимость цефеид должна быть в среднем $+3^m$. Это, однако, не смущало Кертиса, который считал, что «имеющиеся наблюдательные данные едва ли свидетельствуют о существовании зависимости „период—светимость“ у галактических цефеид». Ярчайшие красные звезды шаровых скоплений Кертис считал карликами главной последовательности, а не гигантами, какими они являются на самом деле.

Среди аргументов Шепли, помимо данных о цефеидах, были и лучевые скорости шаровых скоплений, порядка 150–200 км/с. Если, как естественно считать, средняя скорость в направлении, перпендикулярном к лучу зрения, такова же, как и вдоль него, то при расстоянии в 3 600 световых лет ярчайшие шаровые скопления должны были иметь собственное движение порядка $0'',04$ в год, т. е. вполне заметную величину. На самом же деле оно ничтожно мало. Правда Шепли стала очевидной только после открытия вращения Галактики, хотя из-за пренебрежения поглощением света измеренные Шепли расстояния преувеличены вдвое-втрое. Но Кертис оказался прав во второй части «великого спора», о которой еще будет речь.

В 1925 г. Г. Стремберг окончательно установил странную асимметрию в направлении движений шаровых скоплений: они все движутся в одну область Млечного Пути, и скорости их при этом очень велики, порядка 200 км/с. Небольшая доля звезд также обладает высокими скоростями и показывает такую же асимметрию движений. Через год Б. Линдبلاد объяснил это тем, что объекты с высокими скоростями образуют почти сферическую (точнее говоря, эллипсоидальную) систему, а большинство звезд в окрестностях Солнца и оно само, а также рассеянные скопления входят в плоскую систему, члены которой находятся в быстром вращении вокруг центра Галактики. Система шаровых скоплений, наоборот, вращается вокруг этого центра очень медленно, чем и объясняется высокая скорость членов сферической системы относительно Солнца. Понятно, что направление векторов скоростей членов этой системы должно быть перпендикулярно к направлению на центр Галактики, которое с точностью до нескольких градусов совпадало с положением центра системы шаровых скоплений, найденным Шепли.

Вращение Галактики было окончательно доказано в 1927 г. Яном Оортом (1900–1992). Он рассмотрел влияние вращения Галактики на собственные движения и на лучевые скорости звезд в двух предположениях — «твердотельное» вращение и вращение по законам Кеплера. В первом случае, который осуществился бы при однородном распределении вещества в Галактике, она вращалась бы как патефонная пластинка, расстояния всех ее объектов друг от друга сохранялись бы неизменными. Если значительная доля массы Галактики сосредоточена в ее центре, вращение звезд вокруг него должно напоминать вращение планет вокруг Солнца и подчиняться законам Кеплера; линейные скорости звезд должны убывать пропорционально корню квадратному из расстояния от центра. Это различие в скоростях вращения можно обнаружить, определяя лучевые скорости звезд в разных направлениях от Солнца. В четырех направлениях лучевые скорости звезд в среднем будут равны нулю: в направлении центра и антицентра (потому что проекция скорости на луч зрения равна нулю) и двух перпендикулярных (потому что скорости вращения звезд, находящихся на одинаковом расстоянии от центра Галактики, одинаковы). В двух направлениях (под углом 45° к предыдущим) проекция средней скорости на луч зрения будет максимальна и направлена

на Солнце, и в двух других — от него. Следовательно, кривая зависимости лучевых скоростей от направления (от галактической долготы) покажет двойную волну — кривую с двумя максимумами и двумя минимумами. Оорт показал, что эта зависимость для звезд в галактической плоскости должна представляться формулой $V_r = Ar \sin 2l$, где r — расстояние звезды от Солнца и l — галактическая долгота, отсчитываемая от центра Галактики. Взяв затем лучевые скорости звезд классов О и В и цефеид, Оорт нашел, что звезды Галактики действительно вращаются, подчиняясь его формуле, и центр вращения лежит в направлении созвездия Стрельца. Оорт определил также величину постоянной галактического вращения A , называемой теперь постоянной Оорта. Если эта постоянная известна по каким-нибудь объектам, формула Оорта дает возможность определить расстояние для однородной группы звезд.

Влияние вращения Галактики на собственные движения заметить труднее; оно не зависит от расстояния до Солнца. Комбинируя лучевые скорости и собственные движения, Оорт смог оценить расстояние до центра Галактики, которое получилось равным 5 100 пк. Современные оценки дают 7 000–8 000 пк.

Открытие поглощения света в пылевой материи, конденсирующейся к плоскости Галактики, позволило уменьшить ее огромные размеры, определенные Шепли, из-за которых он даже склонялся одно время к мнению, что система Млечного Пути является чем-то вроде очень тесного скопления галактик. В 1944 г. Бааде разложил на звезды центральную часть туманности Андромеды и обнаружил, что это звезды того же типа, из которых состоят шаровые скопления. Он заключил, что деление звезд и скоплений Галактики на быстро вращающийся диск и медленно вращающийся сфероидальный компонент, найденное впервые Линдбладом и Оортом, является общим правилом и что звезды этих двух населений отличаются и по своим физическим характеристикам. Мы знаем теперь, что главная причина этих отличий состоит в том, что сфероидальная система населения II состоит только из старых объектов, в то время как плоская система населения I включает звезды и скопления всех возрастов. Самые же молодые объекты концентрируются в спиральных рукавах.

Схема Каптейна оказалась полностью неверной, но неужели же надо было ждать, пока накопится больше сведений? О необходимости подождать говорят либо очень узкие специалисты, либо авторы теорий и концепций, чувствующие, что новые факты не согласуются с ними. Возможно, где-то в подсознании им обидно, что удача может прийти к другим... Но создание теории, пусть обреченной, если не на слом, то на существенную перестройку, и обреченную неизбежно, — единственный путь развития науки. «Возможно, — говорит Анри Пуанкаре, — нам следовало бы оставить поиски решения, пока мы терпеливо не накопили бы данных для этого... Но если бы мы всегда были столь благоразумны, мы никогда бы не создали Науки и нам пришлось бы прожить наши краткие жизни без мечты». И только благодаря нашему нетерпению мы движемся вперед.

ПЕРВОПРОХОДЦЫ ВСЕЛЕННОЙ

Убеждение никогда не покоится только на доводах рассудка. Оно основано отчасти на логическом отборе и изучении фактов, но также и на интуиции и глубоком философском стремлении к системе идей. И каждый, как только его убеждения сложились, будет осмысливать факты на свой лад.

Аллан Сендидж

Ученый — это человек, который в чем-то почти уверен.

Жюль Ренар

В начале 1920-х гг., одновременно с диспутами о размерах системы Млечного Пути и месте Солнца в нем, все жарче разгорались споры о природе спиральных туманностей. Высказанная почти за два века перед этим гениальная догадка о существовании множества звездных систем, подобных Млечному Пути, обретала наконец наблюдательные доказательства. Трудно поверить сейчас, что прошло лишь 80 лет с тех пор, как стало известно место человека во Вселенной. Это была настоящая революция в астрономии. Менее чем за десять лет, в 1916–1925 гг., Солнце было перемещено из центра единственной и всеобъемлющей звездной системы Млечного Пути на окраину одного из бесчисленных звездных островов в бескрайнем океане Вселенной.

По-видимому, впервые догадка о том, что звездная система Млечного Пути может быть одной из бесчисленного множества таких систем, была высказана шведским философом Эммануилом Сведенборгом. В 1734 г. он писал, что Млечный Путь может быть «звездной сферой» и что «возможно, существуют бесчисленные сферы такого рода». Райт, и позднее Кант и Ламберт также считали, что видимые кое-где на небе туманные пятна могут быть звездными системами, слишком далекими для того, чтобы мы могли различить в них отдельные звезды.

Со своими гигантскими телескопами Вильям Гершель многие из этих туманных пятен смог разрешить на звезды, и в 1785 г. он был уверен

в том, что для некоторых туманностей этого нельзя сделать только из-за слишком большой их удаленности. Однако в 1795 г., наблюдая планетарную туманность, обозначаемую теперь NGC 1514¹⁾, он отчетливо увидел в центре ее одиночную звезду, окруженную туманным веществом. Существование подлинных туманностей, таким образом, не подлежало сомнению, и не было необходимости думать, что все туманные пятна — далекие звездные системы. И в 1820 г. Гершель говорил, что за пределом нашей собственной системы все покрыто мраком неизвестности.

В XIX веке в неразрешаемых на звезды туманностях предпочитали видеть планетные системы в процессе образования — в духе гипотезы Лапласа; NGC 1514 казалась примером далеко зашедшей эволюции — из первичной туманности сконденсировалась уже центральная звезда. Но в середине века теория «островных вселенных» получила поддержку со стороны Джона Гершеля, пришедшего к выводу, что туманность М 51²⁾, у которой лорд Росс открыл в 1845 г. спиральную структуру, может быть похожа на Млечный Путь. К 2 500 туманностям, открытым его отцом, Джон Гершель прибавил еще 5 000, и изучение их распределения по небу дало главный аргумент против предположения, что они являются далекими звездными системами, подобными нашей системе Млечного Пути. Была обнаружена «зона избегания» — почти полное отсутствие этих слабых пятнышек света близ плоскости Млечного Пути. Это было понято как явное указание на их связь с системой Млечного Пути. Поглощение света, наиболее сильное в плоскости Галактики, было еще неизвестно.

Вскоре, в 1865 г., Хеггинс впервые изучил спектр туманностей. Эмиссионные линии туманности Ориона явно говорили о ее газовом составе, но спектр туманности Андромеды (М 31) был непрерывный, как и у звезд. Казалось бы, спор решен, но Хеггинс заключил, что такой вид спектра М 31 говорит лишь о высокой плотности и непрозрачности составляющего ее газа.

В 1890 г. Агния Клерк в книге о развитии астрономии в XIX веке писала: «Вопрос о том, являются ли туманности внешними галактиками, вряд ли заслуживает теперь обсуждения. Прогресс исследований ответил на него. Можно с уверенностью сказать, что ни один компетентный мыслитель перед лицом существующих фактов не будет утверждать, что хотя бы одна туманность может быть звездной системой, сравнимой по размерам с Млечным Путем». Только относительно Магеллановых Облаков, в которых еще Джон Гершель наблюдал и звезды и туманности, Клерк была в сомнении и допускала, что они могут быть и за пределами Млечного Пути; все же остальные объекты, как звезды, так и туманности, «принадлежат к одному огромному звездному агрегату».

¹⁾ NGC — New General Catalog — Новый Общий Каталог туманностей, составленный Дрейером в 1888 г.

²⁾ М — каталог Мессье, составленный этим ловцом комет в 1781 г., включающий лишь яркие объекты.

Хотелось бы знать, какие из нынешних столь же категоричных утверждений окажутся со временем столь же неверными... Заметим, что за сто лет до Клерк было высказано диаметрально противоположное суждение. «По-видимому, звезды... собраны в разнообразные группы, некоторые из коих содержат миллиарды звезд... Наше Солнце и ярчайшие звезды, возможно, входят в одну из таких групп, которая, очевидно, и опоясывает небо, образуя Млечный Путь». Эта осторожная, но совершенно правильная формулировка принадлежит великому Лапласу.

В начале XX века фотографии, полученные Килером с 36-дюймовым рефлектором, показали, что слабых туманностей не менее 120 000. Звездный спектр отражательных (в основном пылевых) туманностей вокруг звезд Плеяд, казалось, подтверждал мысль о невозможности решить вопрос спектральными исследованиями. Это позволило В. Слайферу предположить, что и спектр туманности Андромеды объясняется отражением света центральной звезды.

Для решения вопроса о природе «слабых туманностей» было необходимо знать их расстояние. Здесь могли помочь только фотометрические методы, но для их применения надо было знать светимость (абсолютную величину) каких-либо объектов, находящихся внутри этих туманностей, и сравнить ее с видимой величиной. Эту задачу впервые решил американский физик Ф. Вери в 1911 г. Сначала он оценил расстояние до Новой Персея 1901 г., сравнивая угловую скорость расширения туманности, возникшей после вспышки вокруг звезды, со скоростью света. Он предполагал (совершенно справедливо), что расширение туманности — это не что иное, как распространение волны освещения межзвездной среды, окружающей Новую звезду, ее вспышкой. Получив таким образом расстояние, Вери мог из его значения и видимой величины Новой Персея определить ее светимость. Предположив, что светимость всех новых звезд одинакова, он сравнил ее с видимой величиной Новой 1885 г., вспыхнувшей близ центра туманности Андромеды, и отсюда оценил расстояние до туманности в 500 пк. Более слабые «белые» туманности, к которым относили туманность Андромеды (в отличие от зеленоватых газовых), заключил Вери, лежат на расстояниях в миллионы парсек. Все правильно в этом рассуждении, кроме того, что Новая 1885 г. была на самом деле Сверхновой, ярче обычных Новых в тысячи раз — и значит, расстояние М 31 не 500 пк, а в тысячи раз больше... Но существование Сверхновых было окончательно доказано лишь в 1930-х гг.

В 1914 г. Вестон Слайфер обнаружил, что лучевая скорость туманности Андромеды составляет -300 км/с. Это была тогда наибольшая среди лучевых скоростей небесных объектов, но уже в следующем году Слайфер нашел, что некоторые спирали обладают скоростями до $+1\,100$ км/с. Среди 15 изученных им спиралей 11 удалялись от нас. Эта странность спиралей явно ставила их в особое положение.

Изучая спектрограммы спиралей, видимых с ребра, Слайфер обнаружил, что линии на них наклонены, если щель спектрографа направлена вдоль большой оси туманности. Разные части туманностей имели разную

лучевую скорость, и Слайфер объяснил это вращением их вокруг оси. Лучевые скорости давали линейную скорость вращения в километрах в секунду; вполне естественно было попытаться определить угловую скорость вращения, измеряя собственное движение деталей туманностей, видимых с полюса.

Многолетней работе ван Маанена в этом направлении суждено было сделаться главным препятствием признанию существования других галактик. Сравнение положения почти звездообразных деталей спиральных рукавов туманностей на снимках, полученных Ричи на 60-дюймовом рефлекторе обсерватории Маунт Вилсон (вступившем в строй в 1908 г.) и самим ван Мааненом, привело последнего в 1916 г. к выводу, что эти детали обладают ощутимым собственным движением, указывающим на вращение туманности. В М 101 оно было определено в $0'',02$ в год, что соответствовало бы вращению туманности с периодом в 85 000 лет. Сравнение угловой и линейной скорости вращения М 33 (туманности в созвездии Треугольника) дало для нее расстояние в 2 000 пк.

Эти данные ван Маанена были главным аргументом Шепли в его «великом споре» с Кертисом в апреле 1920 г., вторая часть которого и была посвящена природе спиральных туманностей. Отстаивая полученные им гигантские размеры Галактики, Шепли вместе с тем боролся и против теории «островных вселенных». Расстояния, определенные ван Мааненом для спиральных туманностей, были гораздо меньше размеров системы Млечного Пути по Шепли; о близости спиралей говорила, очевидно, и сама возможность определить в них собственные движения (на самом деле даже для самых близких галактик их определение остается и сейчас на грани возможного).

Второй аргумент Шепли основывался на блеске новых звезд в М 31. Звезда 1885 г. в М 31 (S Андромеды) оставалась единственной новой в туманностях до 1917 г., когда Ричи случайно нашел новую звезду в спиральной туманности NGC 6946. (На самом деле обе они были Сверхновыми.) Сразу же были просмотрены коллекции снимков спиралей, и в них была открыта дюжина новых звезд, в том числе три в М 31. И все они были на $10-12^m$ слабее, чем S Андромеды. Это различие величин казалось Шепли невероятно большим, а светимость S Андромеды — если туманность является внегалактической — невозможно высокой. Если же размеры этой туманности равны размерам Галактики, она, как считал Шепли, должна быть так далеко от нас, что ее новые звезды (не говоря уже об S Андромеды) должны были бы иметь намного большую светимость, чем новые звезды Галактики.

Отсутствие спиралей близ плоскости Млечного Пути (зона избегания), известное с середины XIX века, убеждало Шепли в том, что их распределение в пространстве каким-то образом связано с нашей Галактикой и что уже поэтому они не могут быть «островными вселенными». В самом деле, не могут же тысячи огромных звездных систем располагаться в пространстве так, чтобы только не попадать в экваториальную плоскость одной из них — и именно нашей Галактики. Наученные горьким опытом,

астрономы послекоперникового времени относятся с недоверием к гипотезам, сопряженным с признанием исключительности свойств нашего обиталища во Вселенной.

Если на некоторые аргументы Шепли у Кертиса не было убедительного ответа, то существование зоны избегания он объяснил совершенно правильно. Кертис отметил, что в экваториальной плоскости видимых почти с ребра спиральных туманностей обычно наблюдается темная полоса, которая должна состоять из поглощающей свет материи. Такая же концентрация непрозрачного вещества может быть и в экваториальной плоскости Млечного Пути, почему в ней и не видны далекие объекты. Кертис был в основном неправ в первой части спора (о размерах и строении Млечного Пути, что было главным для Шепли), но совсем неверным был вывод Шепли, что спиральные туманности «вообще не состоят из звезд, а представляют собой истинно туманные объекты».

«Великий спор» в апреле 1920 г. ничего не решил. Не дискуссии, а наблюдательные данные решают проблемы. Такие диспуты остаются безрезультатными (но не бесполезными), ибо когда факты перевешивают в пользу одной из гипотез, у ее противников обычно уже исчезает желание спорить. Они просто умолкают: публичный отказ от своей точки зрения — весьма редкое явление!

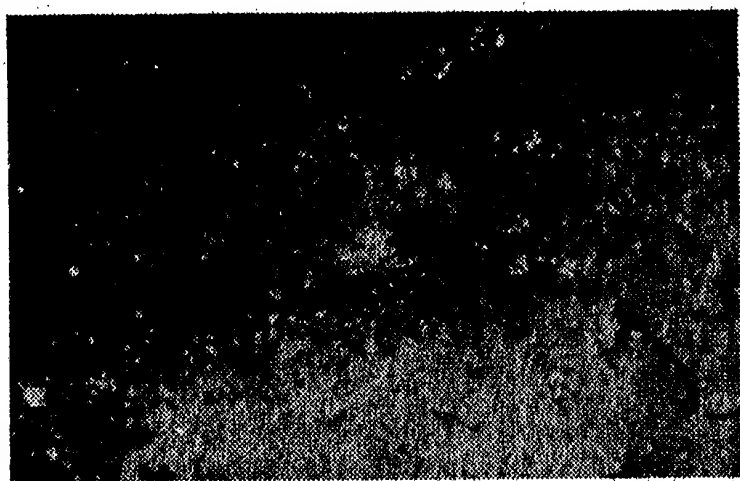


Рис. 7.1. Деталь снимка М 33, полученного Дж. Ричи на 60-дюймовом рефлекторе с экспозицией около 10 часов

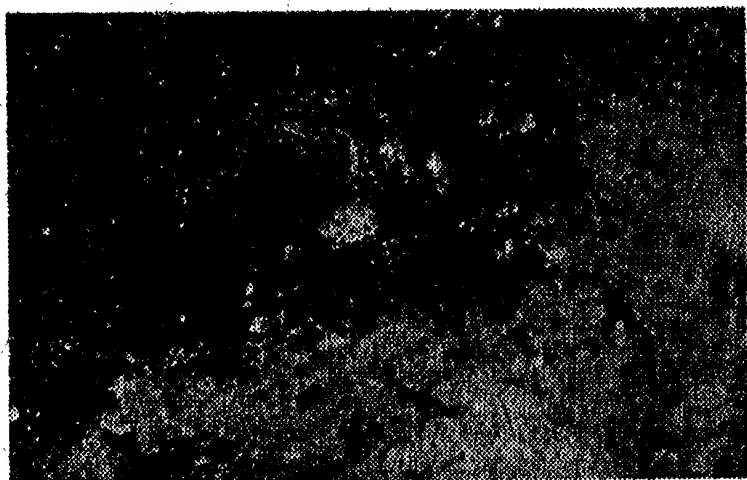


Рис. 7.2. Та же область М 33, сфотографированная на 200-дюймовом телескопе с экспозицией около получаса — полвека спустя

Много лет спустя Шепли вспоминал: «Я был прав, а Кертис ошибался в самом главном пункте — в оценке размеров, в масштабах. Наша Вселенная очень велика, а он рассматривал ее как маленькую». «Расстояния спиральных туманностей — продолжал Шепли, — не относились к официальной теме дискуссии. И здесь Кертис одержал победу. Я ошибался, потому что ставил на измерения движений в спиральных, сделанные ван Мааненом... Я считаю своим промахом то, что я так слепо доверял тут моему другу ван Маанену...»

А ведь Шепли не только создал метод, пользуясь которым, Хаббл вскоре доказал его неправоту, но и не испугался того, что определенные по цефеидам расстояния шаровых скоплений привели к картине строения

Галактики, резко противоречившей авторитету Каптейна. И вдруг — слепо доверился своему другу ван Маанену...

Наверное, и во многих нынешних спорах — такое же переплетение верных и ошибочных соображений у каждой стороны, как это было в «великом споре».

Объяснение отсутствия спиралей в плоскости Млечного Пути экранизацией их слоем поглощающего вещества было предложено Артуром Эддингтоном еще в 1914 г. Тогда же он писал: «Если предположить, что спиральные туманности находятся внутри нашей звездной системы, то мы ничего не можем сказать об их природе. Эта гипотеза заводит в тупик... Если же допустить, что эти туманности являются внешними по отношению к нашей звездной системе и что они в действительности являются системами, равными нашей собственной, это по меньшей мере открывает путь для новых гипотез, которые могут пролить некоторый свет на стоящие перед нами проблемы». Похоже, что Эддингтон сознательно следовал совету Дж. Максвелла: «Из всех гипотез выбирайте ту, которая не пресекает дальнейшего мышления об исследуемых вещах».

Судьба гипотезы «островных вселенных» упиралась, как мы видели, в неопределенность расстояний «спиралей»³⁾. Великолепные снимки, полученные Джорджем Ричи на 60-дюймовом рефлекторе, показывали, что спиральные ветви туманности Треугольника (М 33) усыпаны звездами, но звезды эти часто были нерезкие, туманные. Это могли быть и компактные туманности, и звездные скопления, и несколько слившихся изображений звезд.

Описывая в 1910 г. свои фотографии, Ричи говорил о больших спиральных туманностях, что все они «содержат большое количество мягких звездообразных конденсаций, которые я буду называть туманными звездами». Таких звезд он насчитал 2 400 в М 33, 1 000 в М 101. К. Лундмарк в 1920 г. определенно считал, что фотографии Ричи (рис. 7.1) разрешили М 33 на звезды (ср. с рис. 7.2), но в его распоряжении были только копии оригинальных негативов. Эдвин Хаббл, изучая пластинки, полученные Ричи, пришел к выводу, что изображения «туманных звезд», хотя и очень малы, определенно «мягче», более размыты, чем изображения столь же слабых звезд Галактики. Однако в центральных областях туманностей звездообразные конденсации были наложены на плотный фон, а во внешних областях они уже попадали на края пластинки, где качество изображений было хуже. Поэтому Хаббл пришел к выводу, что не вполне звездный характер изображений «конденсаций» — главное, что заставляло Шепли не считать их звездами, — может быть и следствием фотографических эффектов. Хаббл получил на 100-дюймовом рефлекторе при наилучших изображениях негативы центральных областей туманностей при коротких экспозициях. Фон не проработался, и характер

³⁾ Поскольку среди ярких внегалактических туманностей большинство показывало спиральную структуру, название «спирали» применялось ко всему классу объектов, которые мы называем теперь галактиками.

изображений «конденсаций» стал совершенно звездным. Краевые области туманностей, помещенные в центр пластинки, также разрешались на звезды, неотличимые от столь же слабых звезд Млечного Пути.

Хаббл отметил, что еще на снимках, полученных И. Робертсом в 1887 г. с помощью 20-дюймового рефрактора, во внешних частях туманности Андромеды были видны многочисленные звезды. В «Космосе» Александра Гумбольдта (часть III, с. 153, М. 1853) можно найти упоминание и об еще более раннем обнаружении звезд в этой туманности. Еще в 1848 г. было опубликовано сообщение Георга Бонда, помощника на обсерватории в Кембридже (США) о том, что с помощью 14-дюймового рефрактора он смог различить в туманности Андромеды более 1 500 звезд — число, близкое к известному ныне в М 31 числу объектов ярче 16-й величины. Это достижение было, очевидно, скоро позабыто и не упоминалось в споре о природе туманностей, возможно, потому, что не было доказательств, что это звезды. Правда, многие думают, что Бонд видел лишь звезды переднего фона, реальная предельная величина его наблюдений М 31 неизвестна.



Рис. 7.3. За окуляром 100-дюймового рефлектора — Дж. Джинс, сзади него на наблюдательной платформе Э. Хаббл (1932 г.)

Увидеть можно только то, что считаешь возможным увидеть... Когда в начале 1920-х гг. Хьюмасон показал Шепли несколько переменных звезд — вероятных цефеид, отмеченных им на пластинке с изображением туманности Андромеды, Шепли стер его отметки — в этой газовой туманности не могло быть звезд!

В 1921 г. К. Лундмарк, считая, что «конденсации» — это отдельные звезды и ярчайшие из них имеют такую же светимость, что и в нашей Галактике, оценил расстояние М 33 в 300 кпк. Он ошибся лишь вдвое. В 1922 г. Дункан открыл в М 33 три переменные звезды, но не исследовал их. «Великий спор» близился к концу. Окончательно разрешил его

в 1924 г. Эдвин Хаббл (1889–1953), 35-летний астроном обсерватории Маунт Вилсон. В конце 1923 г. при поисках новых звезд он обнаружил в М 31 первую цефеиду. Слава пришла к нему, а не к Лундмарку, потому что Хаббл сумел *доказать*, что видит в М 31 звезды.

* * *

Устройство Вселенной было распознано к 20-м годам XX века при наблюдениях на больших рефлекторах на горных обсерваториях Калифорнии. Эта история начинается с 36-дюймового (91-сантиметрового) Кросслеевского телескопа, который и поныне работает на Ликской обсерватории на горе Гамильтон в Калифорнии. Его зеркало было изготовлено в Англии в 1879 г. под руководством известного оптика А. Коммона; оно было первым, изготовленным не методом проб и ошибок, а с применением научно обоснованных методов контроля формы поверхности. В 1885 г. телескоп с этим зеркалом был продан любителю астрономии Э. Кросслею, который вряд ли подозревал, что совершает покупку, которая обессмертит его имя. В 1894 г. он решил продать телескоп, и в следующем году он был установлен на Ликской обсерватории, — первой в мире горной обсерватории. Телескоп попал в хорошие руки и в хорошее место.

Астроклимат горы Гамильтон весьма неплох и по современным меркам, а на обсерватории подобрался коллектив, для членов которого было делом чести получать как можно более хорошие фотографии. Именно с Кросслеевским рефлектором был впервые обнаружен мир галактик — существование множества «слабых туманностей», как их тогда называли. По тогдашней оценке сотрудника Ликской обсерватории Килера, доступное этому рефлектору число таких туманностей составляет на всем небе около 120 000. С его помощью было обнаружено и существование темных полос в экваториальных плоскостях некоторых таких «туманностей», что затем было объяснено как следствие концентрации пылевой материи в дисках галактик. Успешная работа Кросслеевского рефлектора стимулировала строительство более крупных инструментов. Первым из них был 60-дюймовый рефлектор обсерватории Маунт Вилсон, построенный в 1903–1908 гг.

Главная роль в создании этой обсерватории принадлежала Джорджу Хейлу, который на редкость удачно сочетал в себе таланты ученого и организатора науки. Известный исследователь Солнца, изобретатель спектрогелиографа, Хейл сумел за свою жизнь организовать строительство четырех телескопов, каждый из которых был крупнейшим в мире для своего времени. Первым из них был метровый рефрактор на обсерватории Йеркса близ Чикаго, вторым — 60-дюймовый рефлектор. Средства для его создания Хейл сумел извлечь из фонда Карнеги, конструирование телескопа и полировку зеркала осуществил Джордж Ричи, оптик из Чикаго, которого Хейл пригласил работать на калифорнийской обсерватории. Стекланный диск был отлит на старинной фабрике Сен-Гобен во Франции.

Создав зеркало и телескоп, Ричи сам стал и наблюдать на нем. Главной его задачей было получение как можно более хороших фотографий небесных объектов. Ричи применял мелкозернистые малочувствительные пластинки, экспозиции доходили до 15 часов; он разработал специальную кассету и мгновенно действующий затвор, который закрывался зубами (руки были заняты гидированием телескопа) в моменты ухудшения изображений. Экспозиции несколько раз прерывались и для исправления фокуса. Фотографии, полученные Ричи, были великолепны, на них, как мы знаем, в сущности впервые ближайшие галактики были разрешены на звезды. Ряд цефеид, открытых в туманности Андромеды Хабблом, можно отождествить и на снимках Ричи, чего он не знал, но у Хаббла это была рутинная работа, а для Ричи это были бы чрезвычайные усилия. Цефеид он не искал, но в 1917 г. случайно открыл в спиральной галактике NGC 6946 Сверхновую звезду (существование их было доказано только в 1934 г., и Ричи называл свою звезду Новой) и начал систематический их поиск, давший еще две такие звезды в туманности Андромеды. Исследования Ричи дали Лундмарку веские аргументы в пользу той точки зрения, что это — самостоятельная галактика, подобная нашей. Однако доказано это было лишь пять лет спустя Хабблом, который работал уже на 100-дюймовом телескопе.

Средства для строительства Хейл получил от миллионера Гукера, диск был отлит на той же фирме Сен-Гобен в 1908 г., а полировку его осуществил Ричи. Работа была закончена в 1918 г. В отличие от 60-дюймового телескопа, установленного на вилочной (американской) монтировке, 100-дюймовый телескоп смонтирован внутри ярма, служащего полярной осью: полюс мира поэтому недоступен. Именно этому телескопу суждено было сыграть решающую роль в построении современной астрономической картины мира. Подумать только — учителя ныне здравствующих астрономов хорошо помнили время, когда спиральные туманности считались газовыми образованиями внутри нашей Галактики, Солнце полагалось расположенным близ ее центра, а нестационарность, получавшаяся в релятивистских моделях Вселенной (отождествлявшейся с нашей единственной Галактикой), считалась их досадным дефектом...

* * *

С помощью 100-дюймового рефлектора Хаббл к концу 1924 г. обнаружил и исследовал в туманности Треугольника 47 очень слабых переменных звезд и 36 таких же звезд — в туманности Андромеды. Из них 22 в М 33 и 12 в М 31 всеми своими характеристиками напоминали цефеиды. Хаббл определил их периоды и нашел, что амплитуда изменения блеска у этих звезд такая же, как и у галактических цефеид данного периода. Доказательства звездного характера изображений «конденсаций» было еще недостаточно; их угловые размеры могли соответствовать размерам целых скоплений. Если это слившиеся изображения нескольких звезд, то будь одна из них цефеидой, амплитуда изменения блеска была бы

у суммарного изображения существенно меньше, чем у одиночной звезды. Но кривые блеска звезд Хаббла ничем не отличались от кривых для цефеид Галактики и Магеллановых Облаков. Сомнений в том, что переменные звезды в М 33 и М 31 — тоже цефеиды, не могло быть. Цефеиды были также обнаружены в неправильной галактике NGC 6822.

Примененная Хабблом зависимость «период—светимость» указывала, в отличном согласии с результатом Лундмарка, что расстояние М 33 составляет 285 кпк. Даже при завышенных Шепли размерах Галактики это расстояние уводило туманность Треугольника далеко за пределы Млечного Пути. Примерно такое же расстояние вскоре было получено для М 31. Шепли был сражен его же собственным оружием.

Известие об открытии Хаббла уже проникло в газеты («Э. Хаббл подтверждает предположение о том, что спирали являются звездными системами», — писала «Нью-Йорк Таймс» 23 ноября 1924 г.), но лишь уступая настояниям Г. Рассела, Хаббл прислал статью об исследованиях цефеид в М 33, М 31 и NGC 6822 на очередной съезд Американского астрономического общества в Вашингтоне. 1 января 1925 г. Дж. Стеббинс прочел доклад Хаббла, и все поняли, что спор окончен навсегда...

«Истинная причина моего нежелания спешно публиковаться, — писал Хаббл Расселу в феврале 1925 г., — состоит, как вы, возможно, догадываетесь, в наличии явного противоречия с ван мааненовским вращением. Проблема примирения двух рядов данных имеет определенную привлекательность, но, несмотря на это, я убежден, что об измеренных вращениях надо забыть...»

Исследование цефеид в М 33 и М 31 позволило установить природу этих туманностей, а не просто означало разрешение их на звезды. Не Хаббл первым разрешил их на звезды, как часто пишут, но он доказал, что это звезды. На репродукции великолепной фотографии центра М 31, полученной Дж. Ричи в 1910 г., можно отождествить десяток цефеид, открытых позднее Хабблом и Бааде. Если бы Ричи сумел получить серию пластинок и сравнить их друг с другом, он мог бы обнаружить и исследовать цефеиды в соседних галактиках еще в 1910 г., а в 1913 г., когда зависимость «период—светимость» была прокалибрована Герцшпрунгом в абсолютных величинах, он мог бы определить расстояния этих галактик — на 12 лет раньше Хаббла. Правда, как Ричи вспоминал в 1929 г., еще в 1919 г. у него была подготовлена к печати статья, в которой доказывалось на основе его фотографий, что спирали являются самостоятельными галактиками, но по причинам, от него не зависящим (сопротивление руководства обсерватории Маунт Вилсон (?)), она не увидела свет...

Стало ясно, что собственные движения в спиральных туманностях, которые обнаружил ван Маанен, являются инструментальным эффектом, но сам он лишь в 1935 г. полностью согласился с этим. Вальтер Бааде, по поручению Хаббла подробно исследовавший этот вопрос, пришел к выводу, что главной причиной является несовпадение геометрического центра изображения с центром максимального почернения на негативах,

полученных Ричи, который прерывал экспозицию при ухудшении изображений. Измерения с малым увеличением, проводившиеся ван Мааненом, дают положение геометрического центра для более ярких звездообразных объектов и центра плотности — для слабых. С. Никольсон, работавший с малым увеличением, вновь нашел вращение, а Бааде и Хаббл, применив большое увеличение, никакого вращения не нашли. К 1934 г. В. Бааде и Ф. Цвикки окончательно доказали существование сверхновых звезд, к которым относится и S Андромеды. Все противоречия исчезли.

Расстояния неразрешимых на звезды спиральных и эллиптических туманностей можно было теперь в первом приближении оценить просто сравнением их угловых размеров с М 31 и М 33. Речь шла уже о тысячах тысяч килопарсеков. Границы Вселенной бесконечно раздвинулись, и она явилась наполненной миллиардами звездных островов.

Э. Хаббл продолжал исследования галактик, которые привели его вскоре к доказательству расширения Вселенной и поставили его имя в ряды величайших ученых всех времен. Ему принадлежит и наиболее распространенное до сих пор деление галактик на эллиптические (от E0 до E7, от круглых до вытянутых), спиральные (S и SB, простые и пересеченные, в которых спиральные ветви начинаются от концов перемычки) и неправильные (Irr). Позднее он ввел тип линзовидных галактик (S0), которые столь же плоски, как спиральные, но спиральных ветвей не имеют. Классификация Хаббла проста и удобна, и число исключений из нее — если не говорить о двойных, взаимодействующих галактиках, — можно перечислить по пальцам, как говорил Вальтер Бааде.

Встретившись в 1920 г. с Харлоу Шепли в Гамбурге, Бааде спросил его, почему он не продолжает исследования галактик. На только что опубликованном снимке М 33, полученном Ричи, — вспоминал Бааде, — было видно, что «система просто усыпана звездами». Но Шепли отвечал, что изображения незвездные, слишком размыты, и убедить его не удалось. А в следующем году Шепли ушел из обсерватории Маунт Вилсон и стал директором Гарвардской обсерватории. То, что мог бы сделать он, сделал Хаббл. Убежденность Шепли оказалась предубеждением. Когда оно рассеялось, Шепли активно включился в исследование галактик, и само внедрение этого термина отчасти его заслуга: Хаббл предпочитал говорить «внегалактические туманности». Но было уже поздно. «Завоевание мира туманностей, — писал Хаббл, — это достижение больших телескопов». А у Шепли в Гарварде их не было.

Участники этой драмы не так уж давно ушли со сцены. Они открыли человеку мир, в котором он живет. А между тем имена первопроходцев Вселенной известны гораздо меньше, чем даже второсортных беллетристов...

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

Что такое эволюция — теория, система, гипотеза? Нет, нечто гораздо большее, чем все это, она основное условие, которому должны отныне подчиняться и которому должны удовлетворять все теории, гипотезы, системы, если они хотят быть разумными и истинными. Свет, озаряющий все факты, кривая, в которой должны сомкнуться все линии, — вот что такое эволюция.

Пьер Тейяр де Шарден

Люди упрямо не соглашаются с самыми здоровыми суждениями не по недостатку проницательности, а из-за избытка гордости — они видят, что первые ряды в правом деле разобраны, а последние им не хочется занимать.

Франсуа де Ларошфуко

Давно когда-то наш замечательный астрофизик И. С. Шкловский (1916–1985) задал мне неожиданный вопрос: «Что есть главный йидл в астрономии?» Несколько секунд я потратил на то, чтобы понять слово «йидл» (по-чешски оно означает «еда, блюдо»), после чего выпалил: «Звезды!» — «Конечно, звезды, — подтвердил Иосиф Самуилович с некоторым, как мне показалось, разочарованием, — ну да вы-то ведь звездник, так что понятно...» Его сотрудники, больше занимавшиеся, как и он сам, диффузным веществом, давали другой ответ; он решил провести «опрос общественного мнения», когда начал писать свою книгу о звездах, которую нужно всячески рекомендовать всем, кто хочет узнать о них подробнее¹⁾.

«Чтобы понять, что собой представляет Вселенная, — как пишет И. С. Шкловский, — надо прежде всего знать, что такое звезды и как они эволюционируют...» Поэтому мы и вернемся к звездам, прежде чем двигаться дальше в глубь Вселенной.

«Звезда — это пространственно обособленная гравитационно связанная непрозрачная для излучения масса вещества, в которой в зна-

¹⁾ Шкловский И. С. Звезды, их рождение, жизнь и смерть. 3-е изд. М.: Наука, 1984.

чительных масштабах происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий». Так определяет ленинградский астрофизик В. В. Иванов основной термин астрономии, наиболее часто встречающийся в нашей науке, давший имя и ей самой. Это определение мало похоже на обычное «светящийся газовый шар», но ряд попыток изменить его показал, что в отличие от привычного, определение В. В. Иванова безупречно, от него нельзя отнять ни слова, и нет нужды что-либо добавить. Конечно, подавляющее большинство звезд имеет форму шара, но в тесных двойных системах или на стадии конденсации из газового облака звезды могут иметь и не очень-то сфероидальную форму.

Изучение звезд составляет основную задачу астрономов уже потому, что вся жизнь на Земле зависит от ближайшей к нам звезды — Солнца. Вселенная состоит из звездных систем, и эволюция галактик неразрывно связана с историей звездообразования в них. Понимание природы звезд — величайший и непоколебимый успех науки.

В XIX веке определения параллаксов звезд доказали старое предположение, что звезды — это далекие солнца. Гравитационного сжатия, предложенного лордом Кельвином в качестве источника энергии звезд, хватало лишь на миллионы лет. Ч. Дарвин был уверен, что эволюция форм жизни на Земле требует времени в сотни раз большего. Мы понимаем теперь, что во времена, когда даже понятие кванта света было неизвестно, сама постановка вопроса об источниках энергии звезд была преждевременна. Кто знает, о каких наших проблемах то же самое скажут потомки...

Важным шагом вперед стала разработка теории внутреннего строения звезд, в создании которой особая заслуга принадлежит А. Эддингтону. Он разработал к 1924 г. модель звезды, механическая устойчивость которой определяется балансом силы тяжести и лучевого плюс газового давления. Это давление удерживает звезду от безудержного сжатия, и обеспечивается оно очень высокой температурой, нарастающей к центру звезды. Но что создает эту температуру, что является источником звездной энергии? Дж. Джинс считал, что это аннигиляция, превращение вещества в энергию, а Эддингтон — что это ядерные реакции, превращение элементов. Он говорил в 1926 г., что возможное в лаборатории Резерфорда не может оказаться слишком трудным для природы и что «разумно надеяться, что в не слишком отдаленном будущем мы будем способны понять такую простую вещь, как звезда».

В те же годы было разгадано происхождение линий в спектрах звезд, и тем самым были определены температура и химический состав их поверхностных слоев. Это сделала в 1925 г. С. Пейн, ученица Рассела, на основе теории возбуждения и ионизации атомов, которую разработал незадолго до того М. Саха. Выяснилось, что относительное содержание химических элементов у всех звезд примерно одинаково и близко к солнечному, на 96–99,9 % внешние слои звезд состоят из водорода и гелия, а остальное составляет железо, кальций и др., примерно в той же пропорции, что и в среднем химическом составе Земли и метеоритов. Резкое

различие спектров звезд было объяснено различием температур их поверхности, хотя содержание элементов тяжелее гелия может отличаться в сотни раз. Перед теорией встала вторая задача принципиального значения — объяснить химический состав звезд и вообще вещества Вселенной.

Отныне, с 20-х годов XX века, развитие астрономии стало уже зависеть от успехов физики, которая начала возвращать свой старый долг астрономии — основы механики были созданы Галилеем, Ньютоном, Лагранжем и Лапласом на основе астрономических данных. Успехи ядерной физики позволили Г. Бете (ныне здравствующему!) заложить в 1938 г. основы теории источников энергии звезд. Концентрация большинства звезд на главной последовательности диаграммы Г–Р была объяснена тем, что это самая длительная стадия эволюции, на которой источником энергии звезд является превращение водорода в гелий. Эта реакция в ее взрывном варианте была осуществлена на Земле в 1952–53 гг., но начавшиеся в те же годы работы по созданию управляемого термоядерного реактора все еще не увенчались успехом. Достигнутое в середине XX века понимание природы звезд и в особенности источников их энергии является величайшим триумфом естествознания.

Обычно в истории науки ее достижения связываются с одним-двумя именами, но даже в отношении экспериментальных и наблюдательных работ это часто несправедливо, а в отношении теоретических исследований — несправедливо почти всегда. История запоминает обычно лишь последнее имя — ученого, после статьи которого утвержденное в ней положение становится общепринятым. Г. Бете получил в 1967 г. Нобелевскую премию за создание теории ядерных реакций в звездах, но он был не один. Принципиально правильную идею выдвинул, как уже говорилось, Эддингтон. Четыре протона соединяются в ядро гелия, масса которого несколько меньше суммы их масс — разность масс превращается в ходе реакции синтеза в энергию, в излучение. Своим оппонентам, считавшим, что недра звезд недостаточно горячи для превращения водорода в гелий, Эддингтон советовал отправиться в ад — поискать местечко погорячее.

Однако даже и при весьма высокой температуре, в рамках классической механики лишь ничтожная доля протонов способна преодолеть при своем сближении силы кулоновского отталкивания. Аналогичная трудность, но с обратным знаком существовала в теории радиоактивного альфа-распада; ее преодолел в 1927 г. Г. Гамов, используя квантово-механический подход. Через два года Ф. Хоутерманс и Р. Аткинсон использовали теорию Гамова, чтобы показать возможность ядерных реакций синтеза в недрах звезд. Г. Бете и Ч. Критчфильд в 1938 г. предложили конкретную цепочку ядерных реакций, ведущую к превращению водорода в гелий — протон-протонный цикл, и тогда же К. Вейцзеккер выдвинул идею углеродно-азотного цикла. В 1939 г. Г. Бете опубликовал обстоятельную обобщающую статью «Производство энергии в звездах».

После выгорания водорода ядро звезды сжимается и нагревается еще сильнее, так что становятся возможными реакции превращения гелия в более тяжелые элементы. Ф. Хойл (1915–2001) в 1954 г. показал, что для

возможности образования элементов тяжелее гелия необходима реакция превращения трех атомов гелия в ядро углерода, причем у последнего должен существовать возбужденный уровень 7,82 МэВ. При наличии такого уровня у вновь образовавшегося атома углерода, он живет достаточно долго для того, чтобы преобразоваться затем в еще более тяжелые элементы. Предсказание существования такого уровня было затем подтверждено в лабораторном эксперименте. Блистательное достижение космической и земной физики, одно из лучших свидетельств достоверности научной теории! Однако Ф. Хойл так и не получил Нобелевской премии, не имел ее и А. Эддингтон...

В недрах большинства звезд протекают термоядерные реакции превращения водорода в гелий — два протона и два нейтрона объединяются в альфа-частицу. Эти реакции происходят в глубинных слоях звезд, где температура достигает нескольких десятков миллионов градусов. Такая температура возникает в результате гравитационного сжатия — завершающего этапа конденсации протозвезды из газового облака. Когда начинается ядерное горение водорода, дальнейшее сжатие звезды прекращается. Истощение водорода в ядре звезды приводит к охлаждению и сжатию звездного ядра. Вследствие этого сжатия температура снова повышается и становится достаточной для включения термоядерной реакции превращения гелия в углерод. Дальнейшая судьба звезды определяется последовательной сменой термоядерных реакций, по-разному происходящей у звезд с той или иной массой. Углерод может далее превращаться в кислород, и такого рода цепочка термоядерных реакций синтеза, при которых выделяется энергия, продолжается до тех пор, пока не образуются элементы группы железа.

Равновесие звезды поддерживается газовым давлением, которое успешно противостоит силе тяжести, стремящейся стянуть вещество звезды к ее центру. Это давление возникает из-за высокой температуры, обеспечиваемой термоядерными реакциями, и оно существует, пока не истощатся запасы ядерного горючего. После этого звезда малой массы превращается в сверхплотный белый карлик, или нейтронную звезду, а звезда с массой, большей ~ 4 масс Солнца, должна, вообще говоря, сжаться за пределы так называемого гравитационного радиуса. После достижения звездой этого радиуса даже кванты излучения не могут оторваться от звезды, и она исчезает для внешнего наблюдателя. Именно поэтому такой объект и называют черной дырой.

Однако иногда (а для звезд с массой, большей 7 солнечных, возможно, и всегда) заключительные стадии эволюции звезд сопровождаются грандиозной катастрофой — взрывом звезды. При этом звезда излучает в течение нескольких суток столько же энергии, сколько целая галактика, состоящая из многих миллиардов обычных звезд. Это явление получило название вспышки сверхновой звезды. Такой взрыв начинается с гравитационного коллапса звезды — спадения ее вещества к центру, лишенному теперь источников энергии. Механизм перехода коллапса

во взрыв, сметающий оболочки звезды, не вполне еще ясен. В результате остается черная дыра или же нейтронное ядро звезды — бешено вращающийся (в силу закона сохранения момента вращения) пульсар, а межзвездная среда обогащается тяжелыми элементами, выработанными при термоядерных реакциях в недрах звезды и в процессе самого взрыва.

Все эти этапы звездной эволюции, предсказанные теоретическими представлениями о термоядерных реакциях как источниках энергии звезд, подтвердились многочисленными результатами наблюдений. Особенно убедительные данные получены при изучении звездных скоплений.

* * *

Исследование звездных скоплений является едва ли не наиболее плодотворным занятием для астрономов, изучающих физику звезд и строение звездных систем. Связано это прежде всего с тем, что звезды в скоплении образовались в едином процессе и более или менее одновременно. Из трех основных характеристик звезд — массы, химического состава и возраста — две последние можно считать (строго говоря, лишь в первом приближении) одинаковыми для всех звезд, входящих в данное скопление. Следовательно, различие их свойств определяется только различием в массах. Это намного облегчает задачу сравнения выводов теории внутреннего строения и эволюции звезд с наблюдательными данными.

В отличие от физиков, астрономы не могут экспериментировать. Те области астрономии, в которых ныне стал возможен прямой эксперимент, когда изучаемый объект доступен непосредственным измерениям, по сути дела, уже постепенно отходят от астрономии, — например, изучение Луны и планет. Астроном может что угодно делать с квантами излучения изучаемого объекта (и в настоящее время ему доступен весь диапазон длин волн электромагнитных излучений), но он ни на йоту не может изменить условия, в которых зарождается это излучение. Он должен либо ждать, пока изменятся условия внутри объекта (или на пути идущего от него излучения), либо же отбирать объекты, характеристики которых зависят от наименьшего числа параметров. Именно поэтому особенно эффективными оказываются исследования переменных звезд (и других нестационарных объектов) и звездных скоплений. Физик, экспериментируя с какой-нибудь установкой, также часто варьирует только одну какую-либо характеристику, оставляя другие неизменными. Астрономы узнают особенно много, исследуя объекты, в которых подобные условия создаются самой природой.

Именно возможность построения точных диаграмм Герцшпрунга—Рассела для различных скоплений и их сопоставление с выводами теории привели в 1950-х гг. к появлению современных представлений об эволюции звезд. При этом понадобилось развитие вычислительной техники, теории ядерной физики, методов фотоэлектрической фотометрии и способов определения расстояний и поглощения света. Теория внутреннего строения и эволюции звезд стала фундаментом наших представлений

о Вселенной. Но прочен ли этот фундамент? Разве мало было случаев в прошлом, когда всеобщая убежденность в понимании какого-либо явления впоследствии оказывалась необоснованной?

Первые эксперименты по регистрации солнечных нейтрино, возникающих в недрах звезды при термоядерных реакциях, дали величину их потока существенно меньшую, чем это следовало из теории внутреннего строения и эволюции звезд. Однако делать отсюда вывод о несостоятельности этой теории было так же неблагоприятно, как приходить к заключению об аварии на ГЭС, если у вас в квартире потухла лампочка. Это меткое замечание Д. Я. Мартынова почти тридцатилетней давности оказалось справедливо.

В 2001 г. было объявлено, что эксперименты, проведенные на нейтринной обсерватории в Садбери (Канада) и на установке Супер-Камиоканде в Японии подтвердили справедливость старой гипотезы Б. М. Понтекорво о возможности осцилляции типов нейтрино. Помимо электронных нейтрино, которые только и могли регистрироваться в предыдущих наблюдениях, существуют два других типа этой частицы, которые, согласно гипотезе Понтекорво, могут превращаться друг в друга, и по дороге от Солнца это может случиться с ними неоднократно. Солнце испускает электронные нейтрино в полном соответствии с теорией, но часть из них добирается до Земли уже как нейтрино других типов. Наблюдения на Супер-Камиоканде позволили установить, что полный поток нейтрино всех трех типов находится в полном соответствии со стандартной моделью внутреннего строения и источников энергии Солнца.

Теория не только предсказала существование ряда астрономических объектов и явлений, не наблюдавшихся ранее, но и объяснила многие из тех, которые были неизвестны или не использовались при ее создании. Фундамент ее был заложен на основе анализа диаграмм Герцшпрунга—Рассела, полученных в 1953–1956 гг. для десятка звездных скоплений. В настоящее время надежные диаграммы построены для шести сотен звездных скоплений в нашей Галактике и в ближайших галактиках. И среди этих скоплений до сих пор не оказалось ни одного, диаграмма Герцшпрунга—Рассела для которого противоречила бы выводам теории звездной эволюции.

* * *

Рассказ об эволюции звезд — это прежде всего рассказ о характеристиках звезд, входящих в скопления разного возраста. За исключением цефеид, для звезд, не входящих в группировки, мы можем указать (зная светимость и температуру) лишь верхнюю границу возраста. Конечно, если есть еще и оценка массы, можно оценить возраст по сетке эволюционных треков, но такие оценки всегда неточны, а часто и неоднозначны.

Вернемся теперь к красивейшему созвездию нашего зимнего неба — Ориону (рис. 1.6). Ниже трех звезд его узкого пояса видна цепочка из трех более слабых звезд — подвешенный к поясу меч небесного охотника.

Средняя из этих слабых звезд кажется невооруженному глазу туманной, и уже в бинокль здесь действительно видна небольшая светлая туманность (рис. 4.2). В ее центре находится система из четырех звезд — Трапеция Ориона. Одна из этих звезд, спектрального класса Об, ионизует окружающее водородное облако. На фотографиях в инфракрасных лучах давно уже было обнаружено, что туманность скрывает целое скопление звезд, к которому относят и Трапецию. Севернее и южнее находятся гигантские облака молекулярного водорода; небольшой их участок, ионизованный ультрафиолетовыми квантами уже сформировавшихся массивных звезд, и виден нам как туманность Ориона.

В этой же области обнаружены также и многочисленные переменные звезды, показывающие либо быстрые неправильные колебания блеска (типа Т Тельца), либо краткие вспышки, во время которых блеск звезды за несколько минут увеличивается в десятки раз, а затем в течение получаса возвращается к исходному значению (звезды типа UV Кита). Эти звезды заметно сосредоточиваются к центру скопления Трапеции.

Первая диаграмма Герцшпрунга—Рассела для этой области была построена в 1954 г. выдающимся исследователем Галактики, основателем московской звездноастрономической школы П. П. Паренаго. На этой диаграмме только наиболее яркие звезды скопления находятся на ГП, более же слабые, включая переменные звезды, располагаются от ГП справа. Так впервые раскрылись основные черты самых молодых звездных скоплений, объясненные теорией лишь несколько лет спустя.

Как уже говорилось, чем больше масса звезды, тем меньше время ее пребывания на ГП. Поэтому самые яркие звезды скопления уклоняются вправо от начальной ГП. Однако правее ГП находятся и наиболее слабые звезды. Собственно говоря, они являются еще протозвездами, поскольку не успели закончить свое гравитационное сжатие и подойти к ГП, двигаясь справа налево. Со столь ранней стадией эволюции, очевидно, связана и переменность блеска у большинства этих объектов, чаще всего объясняемая бурными движениями газа в обширной конвективной оболочке протозвезд, не закончивших гравитационную конденсацию. Имеются многие признаки того, что вся область, покрываемая на небе созвездием Ориона, является очагом звездообразования, в разных частях которого 10^7 лет назад началось и по сей день происходит образование звезд. На расстоянии 12° от Трапеции Ориона, в голове небесного охотника, находится группировка, возраст которой оценивается в 10^7 лет, в ней уже нет газа и пыли. Ярчайшие звезды созвездия — Ригель и красный сверхгигант Бетельгейзе, — очевидно, также связаны с этим давно действующим очагом звездообразования. Это одна из крупнейших в Галактике ОБ-ассоциаций (Орион OB 1) с диаметром около 150 пк, — и один из немногих случаев, когда большинство ярких звезд созвездия и в пространстве находятся рядом друг с другом.

Очаг звездообразования в Орионе является одним из ближайших к Земле. Большинство областей звездообразования в Галактике находятся на расстоянии 4–7 кпк от галактического центра. Все они оказываются

связанными с облаками молекулярного водорода, наибольшие из которых обладают массой порядка 10^5 – 10^6 масс Солнца. Как примесь в этих облаках присутствуют молекулы CO , CH_3CHO , CH_3OH , NH_3 и многие другие. Есть основания полагать, что такие облака должны находиться в наиболее плотных областях огромных комплексов атомарного водорода. Конечно, 25–30 % их массы составляет ненаблюдаемый гелий.

Однако имеются такие звездные группировки, которые состоят только из звезд типа Т Тельца и в них полностью отсутствуют нормальные звезды главной последовательности. Эти Т-ассоциации можно наблюдать, только если они находятся достаточно близко от нас. Такова Т-ассоциация в созвездиях Тельца и Возничего, находящаяся на расстоянии около 200 пк от Солнца и связанная с обширной темной туманностью.

Возраст Т-ассоциаций порядка 10^5 лет. Фактически это просто предельно молодые гравитационно связанные скопления, слишком бедные для появления в них редких (см. с. 103) массивных звезд. Наблюдения в далекой инфракрасной области спектра позволяют выявить и еще более молодые скопления, почти полностью состоящие из протозвезд. Так, в районе газо-пылевой туманности в созвездии Змееносца, в наиболее плотной ее части, находится скопление 70 инфракрасных источников, являющихся, по-видимому, протозвездами. Поглощение оптического излучения в направлении каждого из этих источников больше, чем в близлежащих областях неба, и по-другому зависит от длины волны, что указывает на существование пылевых оболочек вокруг источников, с другими размерами и химическим составом пылинок, чем в окружающем газо-пылевом облаке.

Это полностью соответствует теории, утверждающей, что у протозвезд и должны наблюдаться такие оболочки — остатки газо-пылевой туманности, из которой они сконденсировались. Иногда такие туманности непосредственно наблюдаются как темные диски вокруг протозвезд — они фактически являются протопланетными облаками, в которых идет формирование планет вокруг звезды. Часто от молодых еще сжимающихся звезд отходят огромные газовые струи, сгустки переменной яркости в которых были давно известны как объекты Хербига—Аро. Аккреция вещества происходит в экваториальной плоскости вращающейся протозвезды, а с помощью бьющих от ее полюсов джетов протозвезда освобождается от избыточного момента импульса и магнитного потока. Это интереснейшие явления, аналоги которых наблюдаются и у старых звезд при сбросе оболочки или аккреции вещества от второго компонента пары — и, в неизмеримо большем масштабе, в ядрах многих галактик. Физика процессов звездообразования хорошо описана в книге В. Г. Сурдина «Рождение звезд» (М.: УРСС, 2001).

* * *

Быстрая беспорядочная переменность блеска является характерной особенностью молодых звезд. У массивных протозвезд, которые по приходе на ГП делаются достаточно горячими, окружающие их оболочки

быстро рассеиваются, и молодое звездное скопление становится видимым в коротковолновой части спектра. У протозвезд малой массы они сохраняются надолго, и по крайней мере часть особенностей изменения блеска и спектров звезд типа Т Тельца объясняется существованием таких оболочек. Спектры некоторых из этих звезд прямо указывают на выпадение последних остатков протозвездного облака на образовавшиеся звезды.

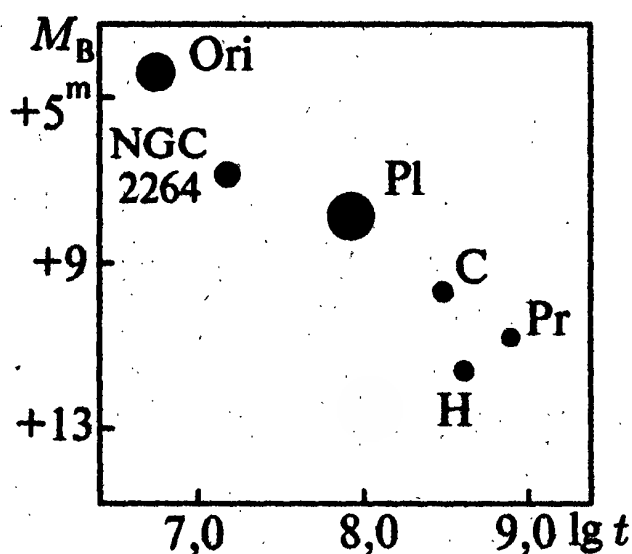


Рис. 8.1. Зависимость между светимостью наиболее ярких в скоплении вспыхивающих звезд и возрастом скопления (слева направо — Орион, NGC 2264, Плеяды, Волосы Вероники, Гиады, Ясли)

Если переменность звезд типа UV Кита и Т Тельца на самом деле связана с их эволюционной молодостью²⁾, то светимость самых ярких в скоплении переменных звезд должна зависеть от возраста скопления; в более старых скоплениях лишь медленно эволюционирующие звезды малой массы и светимости сохраняют вспышечную активность. Такого рода зависимость действительно существует (рис. 8.1).

Мы видим, что практически всегда признаки звездообразования наблюдаются в районах газо-пылевых туманностей, так что несомненна генетическая связь газа и молодых звезд. Есть, однако, случаи, когда этого на первый взгляд не наблюдается, и наиболее известный из них — двойное скопление χ и h Персея. Оно хорошо видно в бинокль на границе созвездий Персея и Кассиопеи и представляет собой великолепное зрелище даже в небольшой телескоп: среди россыпи ярких голубоватых звезд то тут, то там вкраплены рубиновые. Здесь много звезд высокой светимости класса О и несколько столь же ярких красных сверхгигантов класса М. Присутствие О-звезд позволяет считать, что возраст скопления $\lesssim 10^7$ лет, но, несмотря на относительную молодость скопления, в нем не наблюдаются ни молекулярный, ни атомарный водород, ни области Н II — облака ионизованного водорода наподобие туманности Ориона. Это можно объяснить тем, что весь газ из скопления был выметен либо излучением звезд класса О, либо в результате очень давних вспышек сверхновых, не оставивших более никаких следов. Впрочем, в двойном скоплении разброс возрастов звезд явно больше обычного, там есть и красные сверхгиганты, существенно более старые, чем О-звезды, а в скоплениях, возраст которых превышает $2 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^7$ лет, обычно уже отсутствует диффузное вещество. Светлые туманности около звезд Плеяд — это пылевые облака, отражающие свет от находящихся поблизости звезд, но генетическая связь их с Плеядами сомнительна. Возраст скопления Плеяды около $7 \cdot 10^7$ лет.

²⁾ Причем именно эволюционной, а не абсолютной, поскольку возраст некоторых звезд типа UV Кита может достигать 10^9 лет, но их массы столь малы (0,04 массы Солнца), что они еще находятся на стадии гравитационного сжатия.

В этом бедном скоплении нет красных гигантов, и естественно было бы спросить, куда исчезли звезды более яркие, чем покидающие в настоящее время ГП этого скопления? Самый простой (но, как мы увидим, неверный) ответ — их в Плеядах никогда и не было. В наиболее бедных скоплениях более массивных звезд действительно могло и не появиться при едином для всех скоплений распределении звезд по массам (число звезд приблизительно обратно пропорционально квадрату массы), в пользу чего существует много данных. Если же каждое скопление обладало бы своим собственным распределением звезд по массе или светимости (функцией светимости), которое обрывается у значений светимости, различных для разных скоплений, то наблюдались бы скопления, все звезды которых, вплоть до самых ярких, лежали бы на начальной ГП на диаграмме Герцшпрунга—Рассела. Но такие диаграммы известны лишь у немногих самых молодых скоплений, в состав которых входят О-звезды; если же их нет, ярчайшие звезды всегда уклоняются вправо вверх от начальной ГП. И ярчайшими они стали совсем недавно, когда пришел черед более массивным их предшественникам полностью покинуть ГП.

Звезды, ушедшие с ГП, недолго находятся на стадии красного сверхгиганта или (для менее массивных звезд) на стадии гиганта. Поэтому последние и отсутствуют в Плеядах: из-за бедности этого скопления вероятность застать в нем звезды на кратковременной стадии красного сверхгиганта мала и нам в этом отношении не повезло с Плеядами; звезды, уже прошедшие эту стадию, в настоящий момент превратились в белые карлики (или нейтронные звезды), а звезды с меньшей массой еще не покинули ГП.

Диаграммы Герцшпрунга—Рассела для скоплений среднего возраста хорошо согласуются с теорией, которая утверждает, что звезда с массой больше двух масс Солнца скачком покидает верхнюю границу ГП. Быстро пересекая пробел Герцшпрунга, звезда достигает области красных сверхгигантов. Сжатие звездного ядра, начавшееся при уходе с ГП, в этот момент заканчивается — температура становится достаточной для включения термоядерной реакции превращения гелия в углерод. Как показывают расчеты, звезда начинает затем передвигаться влево, описывая на диаграмме петлю с тем большим размахом, чем больше масса звезды (рис. 8.2). Так, сверхгиганты классов В и А в скоплении η и χ Персея, положение которых на диаграмме Герцшпрунга—Рассела соответствует левым концам петель, находятся уже снова вблизи ГП.

Для звезд с массами более 3–4 масс Солнца петли трека неоднократно пересекают полосу неустойчивости, в пределах которой находится ряд пульсирующих переменных звезд, и в частности, цефеиды, массы которых заключены в пределах 3–15 масс Солнца. Цефеиды подчиняются фундаментальным соотношениям «период—плотность»: $P\sqrt{\rho} = Q$ (где P — период, ρ — плотность, а Q — так называемая постоянная пульсации) и «масса—светимость», хотя той же массе цефеид соответствует существенно большая светимость, чем у звезд главной последовательности (это видно из характера эволюционных треков на рис. 8.2).

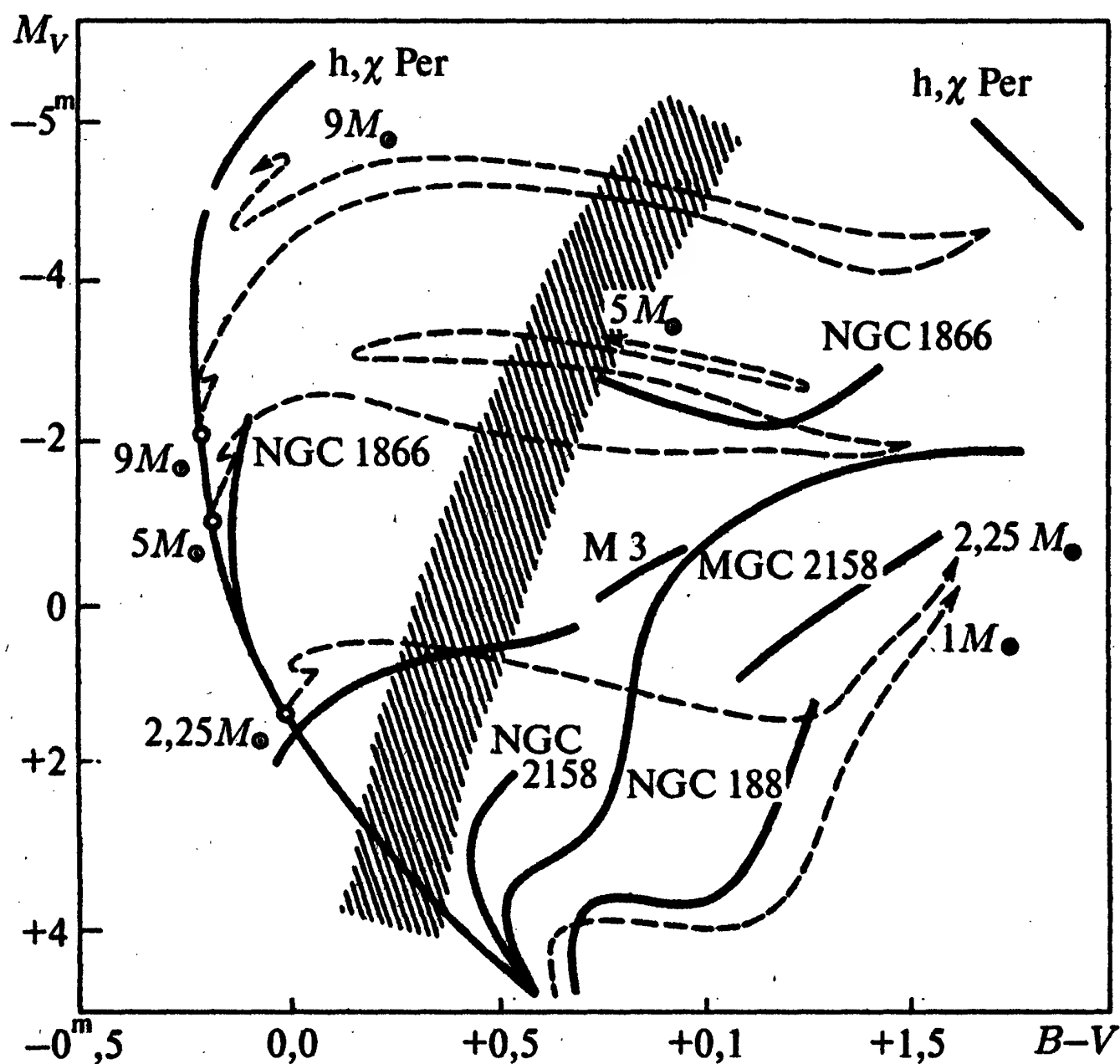


Рис. 8.2. Сводная диаграмма цвет — светимость для четырех рассеянных и одного шарового (М 3) скоплений. Пунктиром показаны эволюционные треки И. Ибена (переведенные в M_V и $B - V$) для звезд с массами, указанными в конце треков и на начальной главной последовательности. Заштрихована полоса нестабильности, попадая в которую, звезды становятся пульсирующими переменными.

Из этих соотношений получается зависимость «период—светимость» (период больше у менее плотных звезд большей светимости) и зависимость «период—возраст» (период меньше, а возраст больше у более плотных звезд меньшей массы, дольше живущих на главной последовательности).

Наблюдательные признаки существования зависимости «период—возраст» впервые были получены автором в 1964 г. по данным о цефеидах, связанных со звездными скоплениями в Галактике. Первая диаграмма «период—возраст» включала в себя всего 12 звезд; в 1978 г. она была построена уже по данным о 64 цефеидах, большинство которых относится к скоплениям Большого Магелланова Облака (рис. 8.3). Наблюдательная и теоретическая зависимости «период—возраст» хорошо согласуются друг с другом, что является важным подтверждением правильности наших представлений об эволюции массивных звезд.

Цефеиды дают и уникальную возможность увидеть воочию эволюционные изменения характеристик звезды. При движении звезды по диаграмме Г—Р направо ее плотность уменьшается и период увеличивается, налево — период уменьшается. Изменяемость периодов цефеид извест-

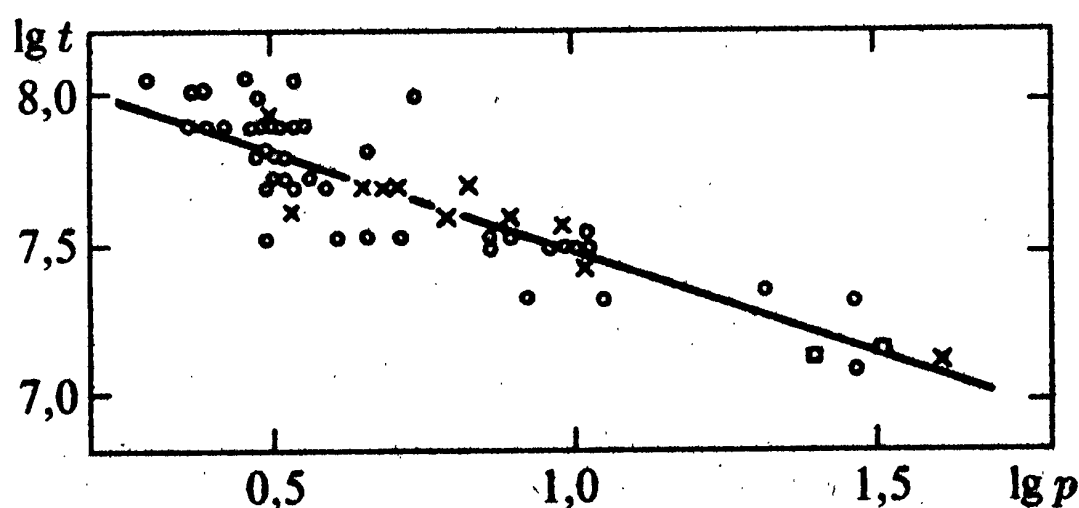


Рис. 8.3. Зависимость «период—возраст», построенная автором для цефеид Галактики (крестики), Магеллановых Облаков (кружки) и М 31 (квадраты)

на давно, но обычно приписывалась случайным вариациям параметров звезды. Однако несколько лет назад Л. Н. Бердников сумел доказать, что во многих случаях хаотические быстрые изменения периодов накладываются на медленные вековые изменения одного знака, причем скорость этих изменений периода соответствует предсказанным теорией. Это единственный пример наблюдаемого изменения параметров звезды, обусловленного ее «нормальной» эволюцией (конечно, взрывы сверхновых также обусловлены эволюцией звезд, но это ее конец). Получить это заключение Л. Н. Бердников сумел после того, как обработал полученные им за 20 лет на многих обсерваториях мира 66 000 наблюдений цефеид в полосах *UBVRI* (что составляет 55 % от всех таких наблюдений в мире); были привлечены и все старые наблюдения цефеид.

Этот результат дает ответ на часто задаваемый вопрос — зачем же наблюдать снова и снова одни и те же звезды. Имеют смысл даже наблюдения ярчайших цефеид невооруженным глазом — они позволяют определить новые моменты максимумов блеска и следить за изменяемостью периода. Вот только не надо говорить об изменяемости периодов, сравнивая их значения, определенные в разные эпохи, как это иногда делают (и публикуют) новички — надо изучать накапливающееся со временем отличие наблюдаемых моментов максимума от вычисленных с данным периодом.

* * *

Обратимся теперь к более старым рассеянным скоплениям. Это понятие, конечно, растяжимое: Гиады в 10 раз старше Плеяд, но раз в 10 моложе наиболее старого рассеянного скопления NGC 188. С возрастом растет в среднем и число звезд в скоплении. Уже так называемые скопления промежуточного возраста (около 10^9 лет) с характерной длинной ветвью гигантов, отделенной небольшим пробелом от поворачивающей к ней ГП (см. рис. 8.2), такие, как NGC 2158 и NGC 7789, принимались ранее (до того как для них были построены диаграммы Герцшпрунга—Рассела) за шаровые скопления, бедные звездами. Бóльшее количество

звезд в старых скоплениях определяется как наблюдательной селекцией (бедные скопления с малым количеством членов и без звезд высокой светимости трудно обнаружить на больших расстояниях от Солнца), так и тем, что бедные и к тому же старые скопления имеют бóльшую вероятность разрушиться при неоднократных сближениях с массивными газовыми облаками. Это, видимо, и является причиной того, что старые рассеянные скопления, как правило, обнаруживаются на достаточно больших (до 1 кпк) расстояниях от плоскости Галактики. Орбиты их обращения вокруг центра Галактики, следовательно, заметно наклонены к галактической плоскости, что дает им меньше шансов встретиться с массивными облаками, сильно концентрирующимися к этой плоскости.

Следует отметить, что ни в окрестностях Солнца, ни в каких-либо других областях Галактики нет звезд, которые находились бы правее и ниже ветви гигантов на диаграмме Герцшпрунга—Рассела для скопления NGC 188. Это означает, что возраст звезд галактического диска не превышает возраст скопления NGC 188. Поэтому оценка возраста этого скопления представляет особый интерес. До последнего времени он принимался равным примерно 10^{10} лет (практически таким же, как и у шаровых скоплений). Химический состав этого скопления, однако, является нормальным, и есть даже подозрение, что тяжелых элементов в нем больше, чем у Солнца. Но поскольку в шаровых скоплениях содержание этих элементов в 10–100 раз меньше, а разрыв в возрасте шаровых и старейших рассеянных скоплений получался небольшим (порядка $5 \cdot 10^8$ лет), делался вывод о быстром обогащении диффузной среды тяжелыми элементами. Приходилось допускать, что за этот срок очень большое число звезд первого галактического поколения кончало свою жизнь, взрываясь как сверхновые и выбрасывая образовавшиеся в их недрах тяжелые элементы.

Последние оценки, однако, дают для скопления NGC 188 возраст около $5 \cdot 10^9$ лет, и, таким образом, имеется разрыв в несколько миллиардов лет между возрастами самых старых рассеянных скоплений и самых молодых шаровых скоплений. После образования галактического диска, по-видимому, систематического увеличения содержания тяжелых элементов с возрастом не было. Это довольно странно, поскольку эти элементы поступают в межзвездную среду при взрывах сверхновых. По всей видимости, это объясняется продолжающейся аккрецией, поглощением нашей Галактикой внегалактических облаков и карликовых галактик с малым содержанием тяжелых элементов. Наблюдаются заметные различия содержания тяжелых элементов в разных скоплениях, а также систематическое его уменьшение с удалением от центра Галактики.

* * *

Теперь займемся шаровыми скоплениями. Это гигантские, сильно концентрирующиеся к центру образования с массами порядка ста тысяч солнечных. В нашей Галактике они (за двумя исключениями) имеют похожие, весьма древние возрасты. На памяти автора оценка их возраста

менялась от $5 \cdot 10^9$ до $25 \cdot 10^9$ лет. Ныне наилучшая оценка составляет $12\text{--}14 \cdot 10^9$ лет. Трудности, возникающие при определении возрастов шаровых скоплений, связаны с учетом зависимости эволюции скоплений от их химического состава (в частности, здесь могут проявляться различия в содержаниях гелия, о чем до сих пор идут споры) и с удаленностью шаровых скоплений от Солнца — следствие их низкой пространственной плотности.

Характерной особенностью диаграмм Герцшпрунга—Рассела для шаровых скоплений является так называемая горизонтальная ветвь (рис. 8.2). Намек на нее есть и у старейших рассеянных скоплений, на диаграмме Герцшпрунга—Рассела которых она лежит заметно ниже. Населенность горизонтальной ветви, как и некоторые другие характеристики диаграмм Герцшпрунга—Рассела шаровых скоплений, сильно зависят от химического состава: у скоплений, бедных тяжелыми элементами, сильно развита голубая часть этой ветви; у скоплений, богатых тяжелыми элементами, выделяется часть ветви, примыкающая к ветви гигантов.

Пожалуй, еще нет устоявшейся интерпретации существования этой горизонтальной ветви. У шаровых скоплений на диаграмме Г—Р вправо от ГП находятся звезды с массой около одной солнечной или чуть меньше. Они продвигаются вверх и вправо по ветви гигантов до тех пор, пока в центре звезд не начинается горение гелия. По-видимому, после этого звезды перепрыгивают скачком на горизонтальную ветвь и располагаются на ней в зависимости от своих (хотя и мало отличающихся) массы и химического состава. Эволюционного движения вдоль горизонтальной ветви, вероятно, не происходит, и эта ветвь является неким аналогом начальной ГП для звезд с массами, близкими к солнечной и горением гелия в их недрах.

Полоса неустойчивости, содержащая звезды, соотношение между температурой и светимостью которых благоприятно для возникновения пульсаций во внешних слоях, пересекает горизонтальную ветвь, и все звезды, находящиеся в этом отрезке ветви, являются переменными типа RR Лиры. Характерный для них период пульсаций составляет от 0,3 до 0,7 суток, и это указывает на гораздо большую, чем у цефеид, плотность звезды. Есть в некоторых шаровых скоплениях и немногочисленные звезды, напоминающие цефеиды, — с периодами до 30 суток; они находятся на диаграмме Герцшпрунга—Рассела выше горизонтальной ветви. Для этих звезд также имеется зависимость «период—светимость», однако их абсолютная звездная величина меньше на $0^m,7\text{--}2^m,4$, чем у цефеид при том же периоде пульсаций. Именно неверное отождествление таких звезд с цефеидами и было главной причиной недооценки светимости последних, вскрытой Бааде и подтвержденной впоследствии исследованиями цефеид в рассеянных скоплениях.

Таким образом, попадание звезды в полосу неустойчивости с неизбежностью означает ее превращение в пульсирующую переменную, и исследования звезд типа RR Лиры показали, что граница этой полосы определена весьма резко: изменение показателя цвета уже на две-три

сотых звездной величины разделяет звезды горизонтальной ветви, находящиеся у границы полосы неустойчивости, на постоянные и переменные. Численность переменных звезд в скоплении зависит от того, попадает ли достаточно населенный звездами отрезок горизонтальной ветви в полосу неустойчивости. В очень богатом шаровом скоплении 47 Тукана имеются всего две звезды типа RR Лиры, так как горизонтальная ветвь на его диаграмме Герцшпрунга—Рассела лишена голубой части. В то же время в скоплении М 3, на диаграмме Герцшпрунга—Рассела которого горизонтальная ветвь развита полностью, находится около 200 таких звезд.

На диаграммах Герцшпрунга—Рассела для некоторых шаровых скоплений, например, для скопления М 3, над точкой поворота ГП находится группа звезд, как бы отставших от других в общем эволюционном движении вправо. Для их обозначения часто используется термин «страглеры», что в переводе с английского и означает «отставшие». Была выдвинута гипотеза, что они являются звездами второго поколения, т. е. недавно образовавшимися в шаровом скоплении и не успевшими поэтому отойти от ГП. Однако образоваться им в шаровых скоплениях не из чего: в этих скоплениях практически нет межзвездного водорода и нет признаков, указывающих на наличие там пыли. Почти все согласны сейчас в том, что «страглеры» задержались на ГП из-за того, что они входят в состав тесных двойных систем, в которых происходит интенсивный обмен веществом между компонентами. Есть и предположение, что они могут оказаться звездами, захваченными шаровыми скоплениями при пролете последних через густо населенные звездами области галактического диска. Детальные спектральные исследования «страглеров» должны решить вопрос об их природе.

Несмотря на резкое различие диаграмм Герцшпрунга—Рассела для шаровых и рассеянных (но не слишком старых) скоплений, оно объясняется лишь различным возрастом этих звездных группировок. Московский астроном П. Н. Холопов (1922–1988) выявил единство их строения (наличие ядра и обширной короны у всех звездных скоплений) и выдвинул веские аргументы в пользу того, что диаграммы Герцшпрунга—Рассела для шаровых скоплений, когда они еще были достаточно молоды, не отличались от диаграмм рассеянных скоплений. В Магеллановых Облаках есть скопления со столь же большим количеством членов, как и у шаровых скоплений нашей Галактики, но их диаграммы Г—Р, однако, указывают на молодой возраст. Еще более массивные и молодые скопления присутствуют в большом количестве во взаимодействующих галактиках, в которых идет активный процесс звездообразования.

В «классических» (старых) шаровых скоплениях присутствуют «огарки» массивных звезд, входивших когда-то в исчезнувшую ныне верхнюю часть ГП — в виде нейтронных звезд или, может быть, даже черных дыр; об этом говорит обнаружение мощных, иногда переменных источников рентгеновского излучения в нескольких десятках шаровых скоплений. Это доказывает, что функция светимости и в древности была такой же, как сейчас.

ЗВЕЗДНЫЕ АССОЦИАЦИИ И ЗВЕЗДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

*Мнения людей — это не сами люди,
и мы можем отвергать мнения, не имея
оснований для нападок на тех, кто их
высказал.*

Иенс Берцелиус

*Часто труднее всего заметить то,
что должно было бы бросаться в глаза.*

Пьер Тейяр де Шарден

Помимо звездных скоплений, компактных группировок самого разного возраста, существуют разреженные ассоциации, объединяющие только молодые звезды. Понятно, что входящие в состав группировок звезды образовались совместно, из одного и того же газового облака.

Ассоциации в нашей Галактике обычно не заметны на фотографиях. Они выделяются из звезд фона лишь как сгущения звезд определенного типа. Еще в 1910–1914 гг., после появления первых каталогов спектров и лучевых скоростей звезд, Я. Каптейн, В. Босс и А. Эддингтон обнаружили большие группировки горячих звезд (спектральных классов О и В) и в том числе известные ныне как ОВ-ассоциации в Орионе, Скорпионе и Кентавре. В 1929 г. А. Паннекук опубликовал список 37 конденсаций ОВ-звезд, среди которых наряду со скоплениями были и весьма большие группировки.

Х. Шепли в 1927 г. пришел к выводу, что звездные скопления в ряде случаев являются концентрированными частями больших систем. К такому же выводу пришел и В. Биделман, опубликовавший в 1943 г. результаты исследования сверхгигантов в области двойного скопления η и χ Персея. Генетическая их связь со скоплением несомненна, но размеры всей группировки составляли примерно 200 пк (у рассеянных скоплений они очень редко превосходят 5 пк). В. Биделман заключил, что эти сверхгиганты не могли быть выходцами из двойного скопления, каждое из которых

способно удержать своих членов, и что проблема динамики звездных облаков еще далека от решения. О. Струве исследовал в 1945 г. аналогичную группу сверхгигантов вокруг рассеянного скопления NGC 6231 (в Скорпионе) и отметил, что тенденция скоплений быть окруженными протяженными группами сверхгигантов — одна из наиболее важных их структурных особенностей.

Именно эти две группы В. А. Амбарцумян (1908–1996) в 1947 г. привел как примеры разреженных группировок ОВ-звезд; он предложил для них название «звездные ассоциации». Но дело было, конечно, не в новом названии для известных уже группировок. В. А. Амбарцумян оценил их плотность и пришел к выводу, что она недостаточна для устойчивости группировки, подверженной действию приливных сил Галактики. Ни Бидельман, ни Струве на это заключение не отважились, хотя в руках у Амбарцумяна были первоначально лишь их данные. Он нашел, что за срок порядка 10^7 лет ассоциации должны были бы распасться. Из динамической неустойчивости ассоциаций следовала молодость их звезд, и эти оценки возраста ассоциаций привлекли поэтому большое внимание. Они получили подтверждение в 1952 г., когда В. Блаау обнаружил, что собственные движения звезд небольшой О-ассоциации вблизи ζ Персея указывают на ее расширение со скоростью около 10 км/с. Вывод о молодости звезд высокой светимости стал общепринятым.

Об «открытии нового типа звездных систем», о «победе советской материалистической космогонии», пришедшей к выводу о групповом образовании звезд, продолжающемся в наше время, говорилось в резолюциях наших космогонических совещаний в 1951–1954 гг. Отто Струве, наследник астрономической династии Струве и белоэмигрант, пристально следивший за нашей астрономией, в 1949 г. написал в “Sky and Telescope” сочувственную статью о звездных ассоциациях, должным образом оценив вывод В. А. Амбарцумяна об их динамической неустойчивости. Но в 1952 г., в разгар кампании «борьбы за приоритет русской науки», в статье, озаглавленной «Астрономия в духе „1984“» (имелся в виду роман Дж. Оруэлла) Струве заговорил по-другому: «Амбарцумян не „открыл“ существование „звездных ассоциаций“, хотя ему принадлежит огромная заслуга выдвижения замечательно стимулирующих идей, касающихся их свойств и происхождения. „Испарилась“ ли в Советском Союзе память о Каптейне и не стал ли великий голландский астроном „нелицом?“».

Звездные группировки, которым В. А. Амбарцумян дал название «звездные ассоциации», в большинстве действительно были известны и до его работ, и он сам (в отличие от своих последователей) об «открытии» ассоциаций не говорил. Термин «ассоциация» также употреблялся и раньше, однако именно Амбарцумян ввел понятие «ассоциаций» как больших разреженных группировок молодых звезд и оно оказалось весьма полезным (рис. 9.1). Однако на выводе о динамической неустойчивости ассоциаций В. А. Амбарцумян не остановился. По его оценке, за срок порядка 10^7 лет ассоциации должны заметным образом растянуться параллельно галактической плоскости, однако имевшиеся тогда наблюда-

тельные данные этого не показывали. Отсюда В. А. Амбарцумян заключил, что звезды ассоциаций уже при рождении получили скорость не менее 1 км/с (иначе влияние дифференциальности галактического вращения (т. е. приливных сил Галактики) сказалось бы на форме ассоциаций), но и не более 10 км/с (такие большие скорости были бы легко заметны). А поскольку конденсация диффузного вещества может дать только устойчивую звездную систему, Амбарцумян был вынужден предположить, что звезды образуются вследствие взрывного распада компактных массивных ненаблюдаемых тел.



Рис. 9.1. Звездные ассоциации вблизи газовой туманности Тарантул (верхний левый угол) в Большом Магеллановом Облаке. Стрелка указывает положение Сверхновой 1987А (ср. с рис. 12.6)

Это предположение влечет и физические, и чисто логические проблемы, что побудило многих астрономов выступить против него. Представления о самом существовании звездных ассоциаций, их расширении и взрывном образовании звезд из ненаблюдаемых сверхплотных тел часто рассматривались как единое «учение», что побуждало противников В. А. Амбарцумяна выступать и против самой реальности звездных ассоциаций. Битва разгорелась на II совещании по вопросам космогонии в мае 1952 г. и закончилась победой В. А. Амбарцумяна. Он и его сторонники заняли господствующие высоты в отечественной астрономии.

Отметим, что сама возможность критиковать «учение о звездных ассоциациях» (а оно было в 1950 г. удостоено Сталинской премии) говорит о том, что моральный климат в отечественной астрономии существенно отличался от такового, скажем, в биологии... Впрочем, в решении этого совещания в отношении А. И. Лебединского и Л. Э. Гуревича было высказано пожелание об «учете критики и более полном использовании богатых фактических данных». В теоретических исследованиях рекомендовалось «еще полнее разоблачать идеалистическую сущность и научную несостоятельность „теорий“ физических идеалистов Хойля, Вейцеккера, Иордана

и др.» Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. И. Лебединский и Л. Э. Гуревич особенно активно выступали против неведомо как возникших дозвездных «сверхплотных тел», которые то выбрасывают из себя отдельные звезды, то рождают гравитационно связанные скопления и газовые облака (которые неизменно связаны с молодыми звездными группировками) и будучи бесстолкновительной системой, тем не менее концентрируются почему-то (как и газ, и молодые звезды) в плоскости Галактики. Ни один из них не стал членом Академии Наук СССР. Позднее неоднократно проваливали на выборах в АН и С. Б. Пикельнера (1921–1975), одного из основоположников современной теории звездообразования, который говорил осенью 1975 г., что невозможность научной дискуссии со сторонниками «бюраканской концепции» является позором для нашей науки. Оспаривающая эту концепцию статья П. Н. Холопова была тогда же отвергнута «Астрономическим журналом».

Критики «учения об ассоциациях» (которое позднее стало называться бюраканской концепцией) оспаривали и реальность существования звездных ассоциаций и их расширение. Станным образом роль поступления в окружающую среду энергии, вырабатываемой внутри звезд — в виде звездного ветра и расширяющихся зон H II вокруг O-звезд, а также при взрывах сверхновых, — недоучитывалась. Правда, для должной оценки ее влияния необходимы были еще современные знания о весьма низкой эффективности звездообразования в большинстве протоскоплений. Если достаточно быстро уходит большая часть газа, новорожденная звездная группировка становится гравитационно несвязанной и довольно скоро должна стать разреженной и большой по размерам, так что будет классифицироваться как ассоциация.

Возможно, острые дискуссии, сотрясавшие нашу астрономию в начале 1950-х и возобновившиеся в 1970-е гг., и не имели бы места, если бы этот простой механизм расширения и распада ассоциаций был тогда общепринят, как сейчас. Он был известен давно, но сведения о низкой эффективности звездообразования, о молекулярных облаках накопились лишь в 1980-е гг. Проблема сейчас состоит в том, как вообще объяснить рождение массивных гравитационно связанных скоплений, ведь в них обязательно должны были быть O-звезды и сверхновые. Обычная палочка-выручалочка, предположение об их отсутствии, о различиях начальной функции масс звезд, в скоплениях не проходит, потому что во многих случаях в массивных старых скоплениях имеются огарки массивных звезд — нейтронные звезды.

В некотором смысле протоскопления действительно оказались плотными ненаблюдаемыми (примерно до 1975 г.) телами. Плотность молекулярных облаков, исследование которых началось с середины 1970-х гг., намного выше, чем у порождаемых ими звездных скоплений. Однако еще и в 1986 г. В. А. Амбарцумян утверждал, что и звезды, и туманности образуются из чего-то другого (и с тех пор по этому вопросу публично не высказывался). Эта настойчивость в отстаивании заведомо безнадёжной концепции кажется странной, трудно вообразить, что выдающийся

астроном сам не понимал ее безнадежности. И. С. Шкловский в разговоре (которому суждено было стать последним) с автором в декабре 1984 г. назвал ее лысенковщиной и добавил, что и социальные корни те же...

* * *

В спиральных рукавах галактик давно были известны гигантские звездные облака, однако до 1970-х гг. была общепринята точка зрения, что они являются случайно образовавшимися конгломератами звезд, генетически не связанными друг с другом. В 1975–1979 гг. мы представили аргументы в пользу предположения, что, помимо звездных скоплений с размерами до 20 пк и звездных ассоциаций с размерами в 30–200 пк, существуют еще более обширные группировки, объединяющие как отдельные звезды, так и скопления и ассоциации. Возраст таких группировок доходит до 100 млн лет, а размеры до 1 кпк; для них было предложено название «звездные комплексы». Одним из них является Местная система, обширная уплощенная группировка молодых звезд с диаметром примерно в 800 пк, ее плоскость наклонена к плоскости Млечного Пути на угол в 18° . Первые признаки ее существования были найдены американским астрономом Б. Гульдом около 180 лет назад — он заметил, что ярчайшие звезды неба концентрируются к большому кругу («поясу Гульда»), наклоненному к линии экватора Млечного Пути. В 1927 г. голландский астроном Ф. Сирс предположил, что Местная система аналогична звездным облакам, из которых состоят спиральные рукава галактик. Выделенные нами звездные комплексы в Галактике также концентрировались в спиральных рукавах.

Звездные комплексы в нашей Галактике были выделены первоначально в основном по данным о пространственном распределении цефеид. Благодаря зависимостям «период—светимость» и «период—возраст», расстояния и возрасты цефеид определяются столь же уверенно, как и для рассеянных скоплений. Знание возрастов цефеид оказалось очень полезным и при изучении звездных комплексов и ассоциаций в галактике Андромеды (М 31). В 1964 г. известный канадский астроном С. ван ден Берг выделил в ней около 200 группировок голубых звезд со средним поперечником в 500 пк. Он рассматривал эти группировки как ОВ-ассоциации, а их вдесятеро большие, чем в нашей Галактике, размеры объяснил тем, что окраинные части ассоциаций в нашей Галактике теряются в более плотном, чем в М 31, звездном фоне (рис. 9.2). Иными словами, ван ден Берг предположил, что истинные размеры ОВ-ассоциаций намного больше, чем считались раньше. Однако от классических ОВ-ассоциаций обширные группировки, выделенные в М 31 по голубым звездам, отличались еще и концентрацией в них цефеид, которые в среднем имеют возраст около 50–100 млн лет, сравнительно с 5–10 млн лет для О-звезд. После выделения звездных комплексов (ЗК) в нашей Галактике стало ясно, что в М 31 они выглядели бы в точности как группировки, описанные в этой галактике ван ден Бергом под названием ОВ-ассоциаций.

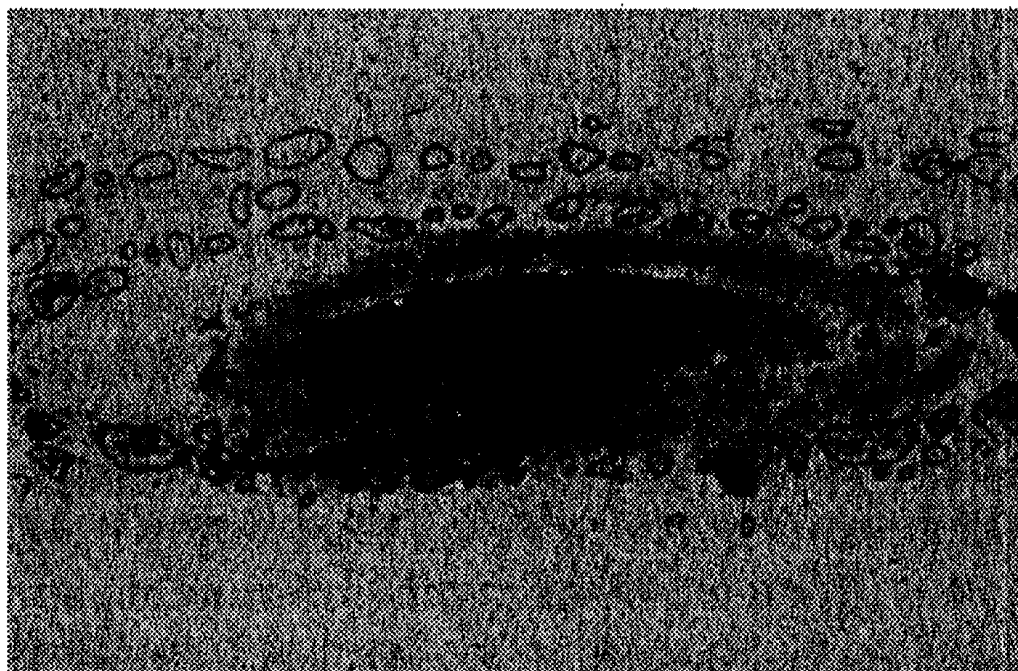


Рис. 9.2. Звездные комплексы, выделенные в М 31 ван ден Бергом под названием «звездные ассоциации»

Большой возраст и размеры ЗК сравнительно с ОВ-ассоциациями позволили объяснить большое различие в размерах ассоциаций, которое обнаружил в 1986 г. известный американский астроном Поль Ходж в ряде галактик. Во многих случаях найденные им ассоциации следовало бы классифицировать как ЗК, все зависит от разрешения и проникающей способности телескопов, равно как и от расстояния соответствующих галактик. Группировки с характеристиками, тождественными известным у классических ОВ-ассоциаций Галактики, были выделены в М 31 в 1985–1987 гг. автором совместно с болгарскими астрономами Г. Ивановым и Н. Николовым; мы использовали пластинки 2-метрового болгарского телескопа (дающие более высокое разрешение, чем использованные ван ден Бергом пластинки 52-дюймовой камеры Шмидта в Таутенберге). Мы независимо обнаружили все группировки голубых звезд, найденные ранее ван ден Бергом, и их средний размер получился примерно таким же, но когда мы сосредоточились на наиболее голубых и ярких (а следовательно, наиболее молодых) звездах, мы получили для этих «истинных» ОВ-ассоциаций средний размер в 80 пк, практически такой же, как полученный Ходжем для ассоциаций Магеллановых Облаков. Почти все наши ассоциации оказались в пределах «ассоциаций» ван ден Берга. Мы заключили, что необходимо четко разделять ассоциации и комплексы: последние являются местами рождения ОВ-ассоциаций, которые возникают и распадаются неоднократно за время жизни всего комплекса.

Эти представления получили вскоре мощную теоретическую поддержку в работах американского теоретика Брюса Эльмегрена, который развивал представления о формировании в газовых дисках галактик под действием гравитационной неустойчивости сверхгигантских облаков с массами порядка $10 \text{ млн } M_{\odot}$ и с размерами около 1 кпк. Такие облака должны образовываться быстрее, чем облака меньшей массы, и особенно быстро — в пределах спиральных рукавов. Надо сказать, что отдельные образцы сверхоблаков были известны и раньше, точно также как и немно-

гочисленные сверхгигантские группировки О-звезд — сверхассоциации. Теперь же представлялось, что масштаб сверхоблаков — звездных комплексов является не только наибольшим для областей звездообразования, но и повсеместным, наблюдающимся во всех дисковых галактиках.

Иногда говорили, что в представлениях о звездных комплексах нет особой новизны, поскольку равные им по размерам сверхассоциации давно уже были выделены В. А. Амбарцумяном и его сотрудниками в ряде галактик. Однако это редкий тип звездных группировок — в галактике Андромеды можно выделить лишь одну сверхассоциацию (NGC 206), тогда как звездных комплексов около двух сотен (рис. 9.2 и 9.3). Можно сказать, что сверхассоциация — это молодой звездный комплекс, целиком охваченный бурным звездообразованием. Однако далеко не все звездные комплексы проходят через эту стадию, обычно в комплексе наблюдается несколько ассоциаций с возрастом около 10 млн лет и десятков цефеид с возрастом в 50–100 млн лет. Разброс возрастов в сверхассоциациях намного меньше, цефеид в них нет совсем. Они появятся через несколько десятков миллионов лет, и те редкие звездные комплексы, которые являются, очевидно, потомками сверхассоциаций, можно распознать по необычно высокой плотности и малому разбросу периодов цефеид. Такая группировка действительно наблюдается близ восточной оконечности бара Большого Магелланова Облака. Примерно 100 млн лет назад она, очевидно, была похожа на находящуюся к северу от нее сверхассоциацию 30 Золотой Рыбы.

По-видимому, какая-то внешняя причина стимулирует и синхронизирует звездообразование в сверхассоциациях, тогда как в обычных комплексах оно идет спонтанно. Самопроизвольное, спонтанное звездообразование обусловлено в конечном счете гравитационным коллапсом — сжатием газовых облаков и превращением их в звезды. Коллапс наступает под действием различного рода неустойчивостей в газовой межзвездной среде. Большое значение ранее придавалось тепловой и магнитно-гравитационной неустойчивости, но последние исследования показывают, что спонтанное звездообразование в газовых дисках галактик определяется в основном сочетанием процессов гравитационной неустойчивости в газе и его турбулентных движений. Сформировавшиеся в этих процессах более плотные облака дают начало молодым звездам, а затем молодые горячие звезды и взрывы сверхновых звезд уплотняют окружающий газ, стимулируя дальнейшее звездообразование. Но когда горячих звезд становится слишком много, газ нагревается и звездообразование прекращается. В звездно-газовой экосистеме возникает саморегулирующийся процесс перехода вещества из газовых облаков в звезды, доля газа в галактике постепенно убывает.

Турбулентные хаотические движения наблюдаются повсюду в межзвездном газе. В качестве возможного их источника рассматривается дифференциальное галактическое вращение, но бесспорно, что большей, если не главный вклад вносят горячие звезды и сверхновые, возмущающие окружающий газ. Накапливается все больше данных о том,

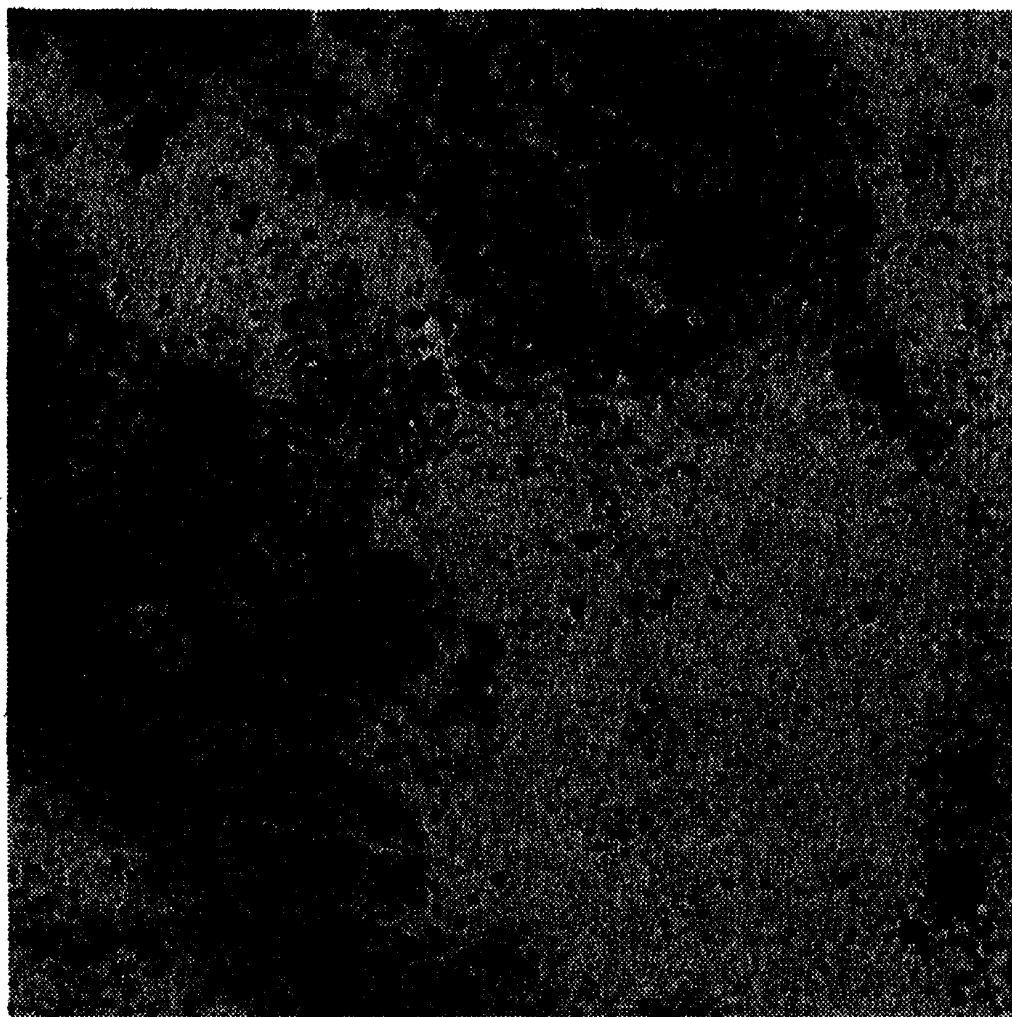


Рис. 9.3. Участок М 31, включающий звездный комплекс ОВ 21 в центре и сверхассоциацию (звездный комплекс, целиком охваченный звездообразованием) ОВ 78 = NGC 206 — справа внизу

что межзвездная среда представляет собой в основном протяженную сеть турбулентного газа с иерархическим, фрактальным распределением плотности.

Выделенного, характерного размера для облаков газа не существует, облака меньшего размера представляют собой более плотные участки более крупных облаков. Эта иерархия размеров начинается с долей парсека — плотных ядер молекулярных облаков и простирается до сверхоблаков с поперечником около 1 килопарсека, соответствующему толщине газового диска галактик.

Звездообразование, идущее в газовых облаках разного масштаба, также должно быть иерархическим, приводящим к появлению вложенных друг в друга звездных группировок разного размера. Действительно, 90 % группировок наиболее молодых звезд, ОВ-ассоциаций, находятся внутри гигантских звездных комплексов с возрастами до 100 млн лет и размерами до 1 кпк, а внутри самих ассоциаций расположены меньшие области продолжающегося ныне звездообразования.

Иерархическая структура молодых звездных группировок, существование которой фактически и было доказано обнаружением звездных комплексов, включающих подавляющее большинство ассоциаций, находит полное объяснение в современной теории звездообразования в турбулентной фрактально структурированной газовой среде. Подтверждается эта теория и найденной недавно Б. Эльмегрином и автором зависимо-

стью между расстоянием друг от друга и различием возрастов молодых звездных скоплений в Большом Магеллановом Облаке (БМО). С увеличением взаимного расстояния между скоплениями растет различие их возрастов, которое можно рассматривать как длительность звездообразования в области с размерами, соответствующими расстоянию между скоплениями. Это отвечает теоретическим ожиданиям для звездообразования в турбулентном газе — в меньших облаках оно должно идти быстрее, чем в больших, ибо свершается во временной шкале, характерной для развития турбулентности в межзвездной среде. Сосредоточенные в звездных комплексах ОВ-ассоциации также подчиняются этому закону и ассоциации большего размера имеют больший возраст.

Большие размеры и меньшая концентрация звезд является во всяком случае единственным реально применимым критерием для различения ассоциаций от скоплений в других галактиках; по данным о БМО граница проходит у размера в 20 пк. Составляя в 1978 г. каталог ОВ-ассоциаций в Большом Магеллановом Облаке (БМО), П. Люкке и П. Ходж не включили в него объекты с заметной концентрацией к центру, поскольку они уже были закаталогизированы ранее как скопления; однако же ряд скоплений, окруженных яркими звездами, попал и в их каталог ассоциаций. Эти авторы сообщают, что в неопубликованном списке ассоциаций БМО, составленном Б. Вестерлундом, намного больше объектов, и подчеркивают, что очень часто трудно сказать, являются ли расположенные по соседству группировки частями одной и той же ассоциации или же независимыми ассоциациями. Это еще одна иллюстрация иерархической организации звездных группировок, расположенных одна внутри другой, которая отражает иерархическую, самоподобную, фрактальную структуру межзвездных облаков.

Для этих облаков параметр, называемый объемной фрактальной размерностью, был найден равным $D = 2,3$. (Напомним, что при однородном распределении плотности масса внутри сферы данного радиуса пропорциональна кубу радиуса, и фрактальная размерность в этом предельном случае равна 3. Чем меньше значение фрактальной размерности, тем меньший объем данной сферы занимают объекты фрактальной природы). Это значение близко к наблюдаемому в земных лабораториях в процессах, связанных с турбулентностью, что указывает на ее значительную роль и в образовании межзвездных газовых облаков. Кучевые облака водяных паров в земной атмосфере также турбулентны и имеют фрактальную структуру, так что когда мы любуемся нагромождениями белоснежных куполов на лазурном небе, мы смотрим и на прообразы межзвездных облаков.

Неоднократно рассматривалась взаимосвязь между массой, размерами, плотностью и дисперсией скоростей для газовых облаков, которую иногда называют «законами Ларсона» по имени американского астрофизика, много этими закономерностями занимавшегося. Наблюдаемая дисперсия скоростей в облаке пропорциональна корню квадратному из его

размеров, а это вместе с фрактальной геометрией газовых облаков и самоподобным распределением плотности в иерархических облаках является указанием на то, что наблюдаемая структурность в газовых облаках и, следовательно, в распределении молодых звезд связана не только с самогравитацией, но и с турбулентцией.

Предположение о том, что звездообразование в меньших облаках должно идти быстрее, чем в больших, во временной шкале, характерной для развития турбулентности в облаке, существенно изменяет существовавшие ранее представления. Должны измениться и наши взгляды на природу ОВ-ассоциаций. Первые звезды, родившиеся в меньших активных областях внутри большой области — в звездном комплексе — успеют уже превратиться в цефеиды с характерным возрастом около 50 млн лет, прежде чем звездообразование закончится во вновь образовавшихся внутри комплекса ассоциациях. Такая же в принципе картина, на меньших временных и пространственных масштабах, наблюдается и внутри ОВ-ассоциаций, компактные субгруппы внутри них имеют меньший возраст.

Фрактальная, иерархическая структурность не имеет выделенного масштаба. Как же объяснить предпочтительный размер ассоциаций в 80 пк, вроде бы наблюдающийся по крайней мере в близких галактиках? Этот наш вывод был подтвержден несколькими исследователями, в том числе и для достаточно далеких галактик (по данным, полученным с помощью Хаббловского Космического телескопа), причем использовались объективные методы объединения звезд в группы. Одно время мы считали возможным, что существование выделенного размера для О-ассоциаций является следствием того, что лишь достаточно массивное молекулярное облако может породить звездную группировку содержащую массивные звезды.

Более вероятно, однако, что этот выделенный размер является следствием того, что ОВ-ассоциации выделяются по звездам определенного возраста — О- и ранним В-звездам. Их удобно выделять, потому что эти звезды достаточно яркие, но похоже, что никаких других причин для выделения ОВ-ассоциаций нет. Они не существуют как отдельный класс звездных группировок, это лишь масштаб в континууме размеров этих группировок, соответствующий возрасту около 10 млн лет.

При использовании более старых звезд размеры объединяющих их группировок должны быть больше (и это может приниматься за расширение звездных ассоциаций с возрастом), и признаки этого наблюдаются. Однако доказать это заключение нелегко. Более старые звезды главной последовательности слишком слабы и обычно вне пределов досягаемости. Однако цефеиды ярче примерно на 2^m звезд главной последовательности того же возраста и поэтому более доступны. Обрисовываемые ими группировки (звездные комплексы) имеют размеры около 600 пк и больше. И эти размеры определяются реальными физическими процессами, а не возрастом используемых звезд, поэтому комплексы столь важны. Их размеры являются предельными для звездных группировок, потому что приблизительно соответствуют толщине газового диска галактик.

Размеры звездных комплексов, определяемых как наибольшие округлые группировки звезд, безотносительно к их возрасту, как показано в нескольких работах Брюса Эльмегрин и Дебры Эльмегрин с соавторами, зависят от главных характеристик вмещающих их галактик. Ассоциации не являются элементарными ячейками звездообразования, но звездные комплексы остаются его фундаментальным масштабом.

Звездные комплексы — наибольшие группировки (относительно) молодых звезд, они слабо или совсем не связаны гравитационно и на форме наибольших и наиболее старых из них сказывается дифференциальное вращение галактик, скорость которого увеличивается к центру; оно вытягивает комплексы в короткие обрывки спиральных рукавов, обрисовываемых только достаточно молодыми звездами. Именно такая хаотическая структура из коротких обрывков рукавов наблюдается у большинства галактик, относимых к классу спиральных. (У неправильных галактик концентрация массы к центру слабее и вращение ближе к твердотельному, поэтому в них и нет спиральной структуры, и округлые звездные комплексы хаотически разбросаны по галактике).

Таким образом, мы пришли к выводу о существовании континуума размеров и масс областей звездообразования; эти размеры возрастают с увеличением возраста старейших звезд в данной области. Именно поэтому столь неоднозначны и противоречивы результаты выделения ОВ-ассоциаций; близкие размеры, получавшиеся для них в ряде близких галактик, являются следствием того, что в таких случаях использовались лишь наиболее яркие звезды. Никакого физически выделенного размера в этой иерархической последовательности не существует, и единый механизм ответственен за рождение скоплений и ассоциаций разных масс.

Однако физически выделенные размеры появляются, когда мы подходим к масштабам, соответствующим толщине спирального рукава или газового диска галактик. Это размеры наибольших округлых, еще не растянутых дифференциальным вращением звездных комплексов, которые зависят от динамических и морфологических параметров, содержащих комплексы галактик, и возрастают с их диаметрами. Газовые облака, размеры которых превышают толщину галактического диска, растягиваются дифференциальным вращением в короткие обрывки спирального рукава раньше, чем такое газовое облако в основном превратится в звездное. В этом смысле в иерархический ряд возрастающих по размеру областей звездообразования можно включить и такие короткие фрагменты рукавов.

* * *

Большинство звездных комплексов содержат и изолированные звезды, и скопления, и ассоциации. Концепция группового образования звезд, «утвержденная» Вторым Всесоюзным совещанием по космогонии в 1952 г., остается широко распространенной, хотя статистика скоплений и изолированных звезд приводит многих исследователей к выводу, что ныне наблюдаемые скопления содержат лишь около 10 % звезд. Большинство звезд считается выходцами из уже распавшихся скоплений

и ассоциаций. В конце XX века, однако, появились факты, которые можно интерпретировать как свидетельство возможности образования звезд и в изоляции друг от друга, причем даже массивных звезд.

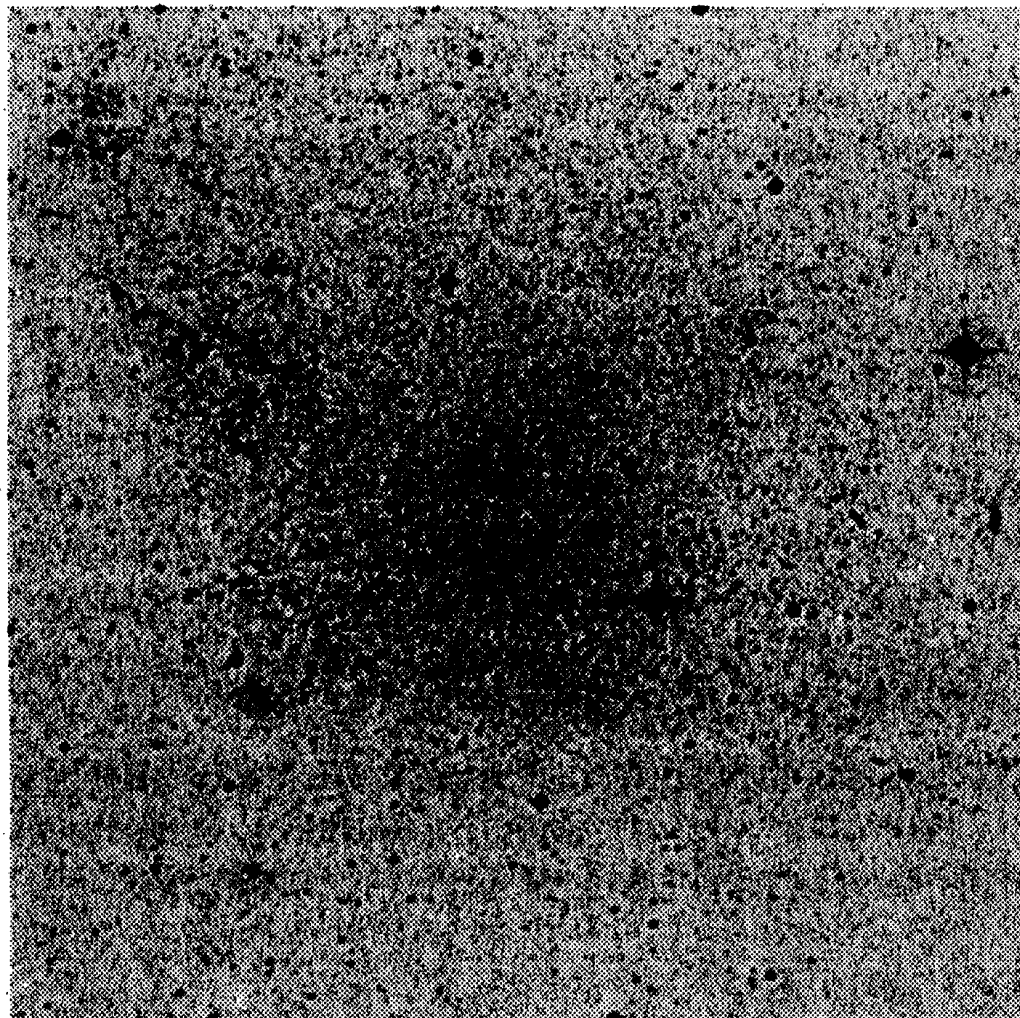


Рис. 9.4. Неправильная галактика Местной группы IC 1613. Почти все ее звезды высокой светимости сосредоточены в сверхассоциации (слева вверху)

не вяжется с общим высоким темпом звездообразования в IC 1613. П. Ходж в 1986 г. заключил, что данные о IC 1613 свидетельствуют о наличии нераспознанного фактора, определяющего возможность или невозможность образования в галактике богатых скоплений. Недавно Ходж и его сотрудники нашли, что темп образования скоплений (после учета различия масс галактик) в IC 1613 в 600 раз меньше, чем в Большом Магеллановом Облаке (БМО). IC 1613 — вполне нормальная карликовая неправильная галактика, в том числе и по содержанию водорода (рис. 9.4).

Но и само БМО вовсе не эталон «нормального» звездообразования. Изучение распределения скоплений БМО по возрастам, а также химического состава звезд и газовых облаков этой галактики показывает, что относительная доля образующихся одиноких звезд и звездных скоплений может изменяться и в процессе эволюции одной и той же галактики. В интервале возрастов 4–10 млрд лет в БМО практически нет заметных скоплений, а между тем и на этом интервале содержание тяжелых элементов в этой галактике продолжало расти. Образоваться они могли только в звездах, и значит, прекращение формирования скоплений отнюдь не сопровождалось остановкой в образовании индивидуальных звезд.

На примере БМО и IC 1613 С. ван ден Берг в 1999 г. пришел к выводу, что темп звездообразования в галактиках не обязан тесно коррелировать

Первые признаки того, что образование звезд возможно и вне скоплений, стали известны давно. В. Бааде отметил в 1958 г., что в IC 1613, неправильной галактике Местной группы, он не смог заметить ни одного звездного скопления. Молодых звезд в галактике много, они сосредоточены в сверхассоциации, находящейся на краю галактики. «Я никак не мог понять, как Господь ухитрился загнать все голубые звезды галактики в один угол», — заметил Бааде. Последующие исследования обнаружили все же несколько крошечных скоплений, но это

с темпом образования звездных скоплений. Он подчеркивает, что драматический контраст между историей образования скоплений и звезд поля ведет к предположению, что звездные скопления не могут использоваться как представительные образцы для всего процесса звездообразования.

Имеются и другие данные, подтверждающие этот вывод. Это существование многочисленных изолированных молодых массивных звезд в БМО, с несомненностью доказанное в цикле работ П. Массея в 1990-х гг. По оценке Массея, примерно половина звезд высокой светимости в БМО находится за пределами

ассоциаций, и около ста звезд БМО и ММО с массами, превышающими 25 солнечных, находятся далее 200 пк от ближайшей ассоциации. Количество и молодость таких звезд показывают, что это не может быть объяснено дрейфом из мест рождения в ассоциациях или «механизмом пращи», разлета компонента двойной системы при взрыве спутника как Сверхновой. Изолированных звезд поля слишком много и для предположения об их вы-

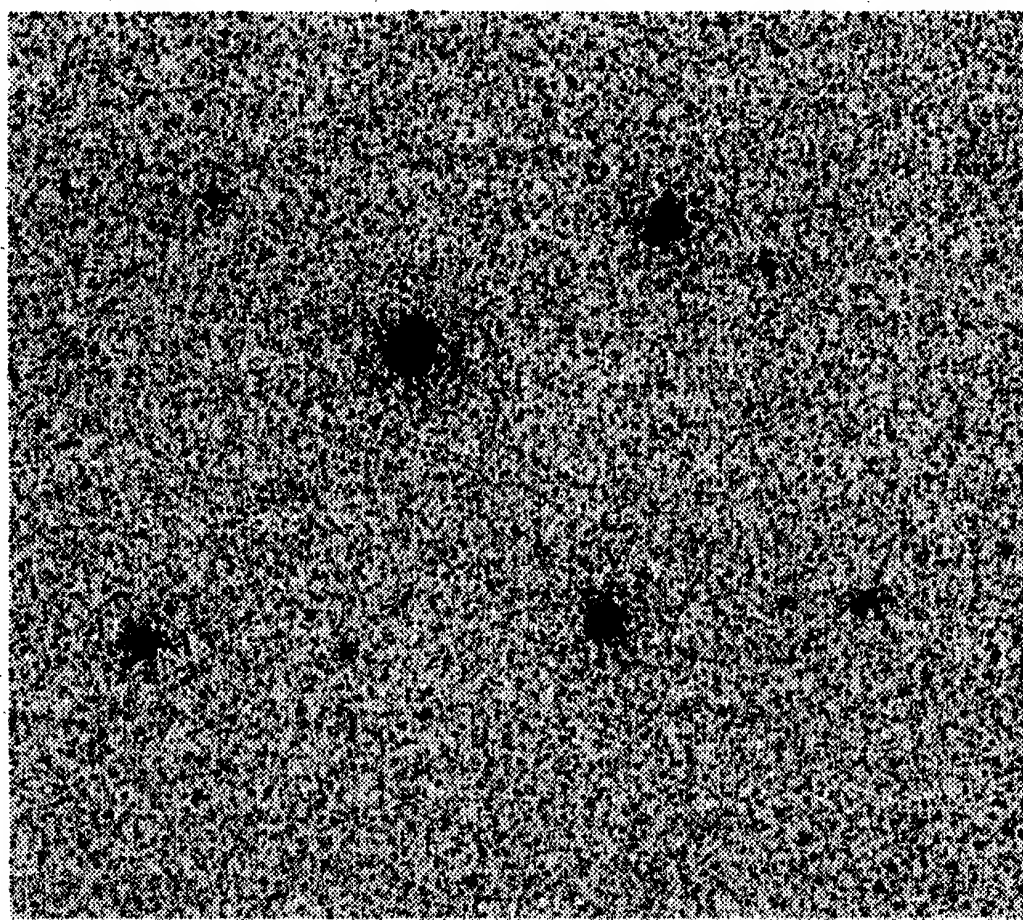


Рис. 9.5. Группа массивных молодых скоплений в БМО, слева сверху — NGC 2164

бросе из компактных ядер скоплений в результате динамического взаимодействия звезд. Находящиеся далеко от ассоциаций молодые звезды Магеллановых Облаков родились, скорее всего, поодиночке.

Звездные комплексы дают возможность проверить этот вывод. В нашей Галактике и в БМО известны примеры комплексов, в которых необычно много или же необычно мало скоплений. Особенно поразительна в БМО группа из десятка скоплений (в том числе четырех массивных) примерно одинакового возраста вокруг скопления NGC 2164 (рис. 9.5), внутри которой известны лишь три (и еще несколько внутри скоплений) цефеиды, хотя возраст скоплений находится внутри интервала возрастов, возможного для цефеид. Отсутствие изолированных цефеид поэтому показывает, что условия в исходной газовой среде были благоприятны именно для образования гравитационно-связанных скоплений. В результате объективного изучения распределения в БМО цефеид и тех скоплений, возраст которых находится в пределах диапазона возрастов цефеид, П. Баттинелли и автор нашли в 1999 г. четыре группы скоплений (включая комплекс NGC 2164), и оказалось, что лишь одна из них совпадает с концентрацией цефеид. В этой единственной группе

«нормального» состава имеется два массивных скопления, NGC 2058 и NGC 2065, и два десятка меньших скоплений, а также около 150 цефеид, из которых более двадцати являются членами скоплений. Возрасты и цефеид, и скоплений близки друг к другу. Этот комплекс находится у восточного края бара БМО.

К комплексу NGC 2058/2065 примыкает с юго-востока плотная группа из 180 цефеид примерно такого же размера (около 200×300 пк), в которой имеется лишь несколько крошечных скоплений (рис. 9.6). В центральной части этой группы скоплений нет совсем, а плотность цефеид составляет около 900 звезд на кв. кпк, т. е. на два порядка выше, чем в окрестностях Солнца! Периоды и следовательно возрасты этих цефеид заключены в узких пределах (3–5 дней). Отсюда следует, что этот комплекс на юго-востоке от NGC 2058 является реликтом вспышки звездообразования, и причем вспышки необычной, не давшей гравитационно-связанных скоплений. Исходя из универсальности функции светимости звезд, из данных по цефеидам можно сделать вывод, что около 100 млн лет назад в этой области была весьма большая плотность горячих звезд и, следовательно, высокое давление в газе. Получается, что эти факторы вовсе не связаны однозначно с вероятностью возникновения массивных гравитационно-связанных скоплений.

Предположение о том, что такие скопления образуются в условиях высокого давления окружающего газа (которое пропорционально квадрату плотности), было обосновано в работе Б. Эльмегрини и автора в 1997 г. Это давление может привести к сохранению гравитационной связанности скоплений и при наличии в нем О-звезд и сверхновых (обязательном для богатых скоплений), в обычных условиях быстро выметающих большую долю газа из молодой звездной группировки. Оно нашло подтверждение при изучении молодых богатых скоплений в спиральных галактиках, в первую очередь благодаря систематическому их поиску, проведенному С. Ларсеном и Т. Рихтлером в 21 галактике в 1999 г. Оказалось, что численность таких скоплений, нормированная к светимости содержащей их галактики, коррелирует с темпом звездообразования в ней.

На продолжении этой зависимости находятся и особо богатые массивные скопления, в больших количествах найденные в последние годы во взаимодействующих галактиках с помощью Космического телескопа им. Хаббла. В нескольких случаях определена и дисперсия скоростей звезд в этих скоплениях — из нее можно найти, какую массу должно иметь скопление, если оно гравитационно связано. Получаются огромные величины, 10^5 – 10^6 масс Солнца, как у самых богатых классических шаровых скоплений населения II, старейших объектов во всех галактиках. С другой стороны, из интегральной светимости и возраста скопления, исходя из функции светимости его звезд и соотношения «масса—светимость», можно определить «фотометрическую» массу скопления. Сравнение этой массы и динамической приводит к выводу, что эти скопления гравитационно связаны — и значит, будут жить долго и через 10 млрд лет будут неотличимы от обычных шаровых скоплений.

Таким образом, проблема образования наблюдающихся ныне молодых массивных гравитационно-связанных скоплений и классических старых шаровых скоплений на заре эволюции Вселенной, на самых ранних стадиях эволюции галактик, является одной и той же. Такие скопления, как и высокая плотность газа и высокий общий темп звездообразования, наблюдаются во взаимодействующих галактиках, в согласии с теорией. Однако же данные об IC 1613 и о населении звездных комплексов в БМО свидетельствуют, что есть и другие возможности. Эти данные осмыслены только недавно; особое значение имело то обстоятельство, что данные о цефеидах и о скоплениях в области бара БМО теперь исчерпывающе полны благодаря работе группы польских астрономов (программа OGLE) по поиску явлений микролинзирования, в рамках которой велось слежение за блеском миллионов звезд в БМО.

Отсутствие скоплений в областях с высокой плотностью цефеид говорит именно о различии способов звездообразования. Некоторые «сверхгиганты» БМО при наблюдениях с высоким разрешением оказались очень компактными крошечными скоплениями, но вклад нераспознанных таких случаев в проблему должен быть невелик — они были подозрительными и раньше по аномальной яркости и композитному спектру. Для цефеид же отсутствие неразрешенных компонентов следует из нормальности амплитуд изменения блеска. Впрочем, образование только крошечных скоплений — все равно аномалия.

Подчеркнем, что отсутствие скоплений при нормальном и тем более повышенном темпе звездообразования — довольно редкая аномалия. В Местной группе галактик, в пределах которой звездные скопления обнаружены практически исчерпывающим образом, среди двух десятков галактик с активным звездообразованием IC 1613 единственная их не содержит. Доля комплексов с аномальным составом еще должна быть определена, но она явно невелика. Нужны количественные определения, наподобие сделанных Ходжем для IC 1613.

Таким образом, представляется, что можно говорить о двух экстремальных результатах звездообразования — образовании только звезд

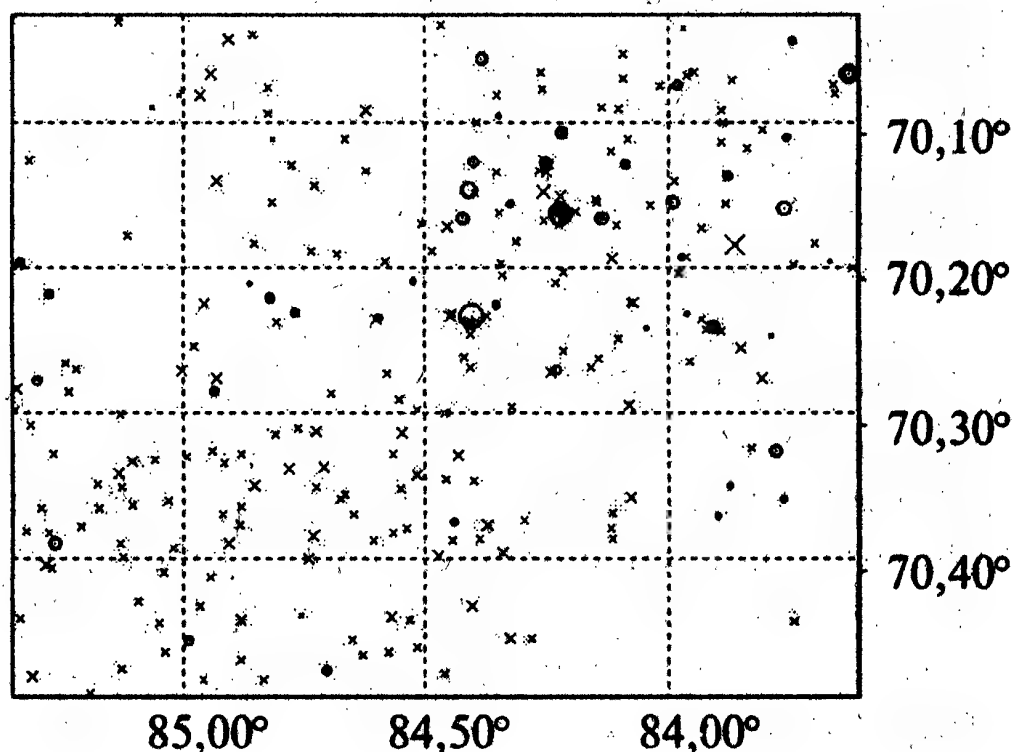


Рис. 9.6. Карта области БМО у восточного (левого) окончания бара. Крестики показывают цефеиды, кружки — скопления. Карта построена по данным программы OGLE, с исчерпывающей полнотой и для цефеид и для скоплений

и только массивных скоплений. Крайности редки, но именно их изучение должно пролить свет на механизмы, управляющие рождением звезд. Возможно, что ключевое значение имеет вывод П. Массея (1999 г.) о различии функций светимости звезд ассоциаций и поля БМО — в поле БМО больше доля звезд относительно меньших масс — в соединении с теорией звездообразования в турбулентной среде. Согласно этой теории звездообразование свершается быстро, за время, близкое к одному времени пересечения исходного молекулярного облака (т. е. отношения его размеров к дисперсии скоростей), чему имеется ряд наблюдательных подтверждений (см. выше).

От свободного быстрого коллапса, согласно этой теории, молекулярные облака удерживаются не магнитным полем, а турбулентностью, характеристики которой, как считают некоторые теоретики, и определяют результат звездообразования. Согласно М. Мак-Лоу и Р. Клессену, ее отсутствие приводит к быстрому формированию скоплений, оно возможно также при затухающей турбулентности и крупномасштабной турбулентности, тогда как при малых длинах турбулентных волн образуются только изолированные звезды. Для нас важно при этом, что, согласно этой теории, в последнем случае доля звезд меньших масс возрастает быстрее, — но именно это и отметил Массей для функции светимости изолированных звезд БМО. Сопоставление двух результатов приводит к новому знанию, как это часто бывает в астрономии.

Мак-Лоу и Клессен заключили в 2000 г., что различия в силе и характере турбулентности могут быть вполне достаточны, чтобы объяснить образование изолированных звезд и звезд в скоплениях. Возможно, что высокая плотность газа является необходимым, но еще не достаточным условием для образования массивных гравитационно связанных скоплений. В областях с мелкомасштабной турбулентностью она может привести к синхронному возникновению изолированных звезд, образующих сверхассоциацию, не содержащую скоплений. Возможно, что ударная волна с большим радиусом кривизны при некоторых условиях (магнитное поле (?)) способна погасить мелкомасштабную турбулентность и стимулировать образование одних только скоплений.

Тогда из данных о пекулярных комплексах в БМО следует, что характерные размеры областей с разными параметрами турбулентности составляют несколько сотен парсеков. Встает трудный вопрос о причине различий характеристик турбулентности в разных местах и временах. Это может стать ключевой проблемой звездообразования. Перемежаемость ячеек с ламинарными и турбулентными течениями хорошо известна в земных условиях, но до объяснения ее еще далеко. Однако возможно ли, чтобы тот или иной характер турбулентности сохранялся на миллиарды лет в целой галактике? До полного понимания проблемы еще далеко, но ведь пока даже само ее существование малоизвестно.

История звездных комплексов подробно описана в книге автора «Очаги звездообразования в галактиках. Звездные комплексы и спиральные рукава» (М.: Наука, Физматлит, 1989).

ЗАГАДКА ЗВЕЗДНЫХ ДУГ

Для того, чтобы решить проблему, мы должны сначала прийти к пониманию, что она существует.

Ганс Селье

Абсолютно непредубежденный индивидуум, относящийся к каждой ситуации с равным доверием, непригоден не только для науки, но и для выживания.

Ганс Селье

Некоторые звездные комплексы имеют странную дугообразную форму. В области гигантской газовой сверхоболочки LMC 4 на северо-востоке БМО давно известны удивительные структуры — три или четыре гигантские дуги с радиусом в 150–300 пк, образованные звездами высокой светимости и молодыми скоплениями (рис. 10.1 и 10.2).

Одну из таких дуг можно видеть в World Wide Web, на сайте *Astronomical picture of the day (APOD)*, ее изображения помещены там 25 июня 1995 и 23 августа 1997 г., а в ультрафиолетовых лучах — 11 октября 1995 г. (рис. 10.3). В подписи к этому рисунку говорится, что «причина, по которой эта арка имеет наблюдаемую форму, в настоящее время неизвестна».

Самую четкую из этих дуг отметили Вестерлунд и Матьюсон еще в 1966 г.; они связали происхождение и дуги, и всей водородной полосы LMC 4 со взрывом гипотетической Сверх-Сверхновой, сославшись на работу Шкловского, предположившего возможность таких сверхвзрывов. Первым обратил внимание на другие дуги в этой области П. Ходж в 1967 г.; он также говорил о возможности их образования в результате сверхмощного взрыва. И с тех пор в течение 30 лет никто не интересовался природой и происхождением этих странных звездных комплексов, хотя область LMC 4 активно исследовалась.

В 1998 г. автор и Б. Эльмегрин объяснили правильную круговую форму гигантских звездных дуг их образованием из газа, нагребенного

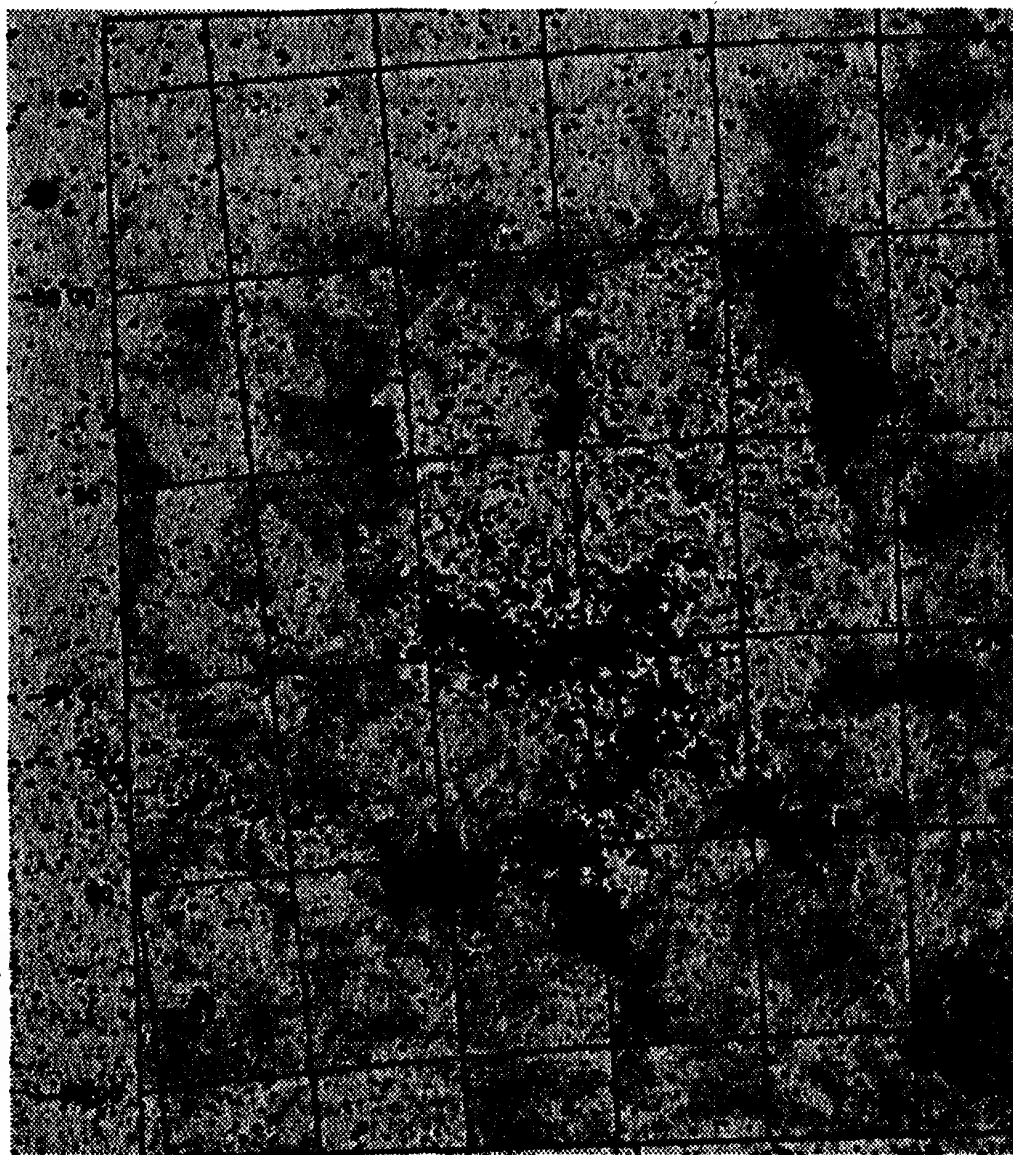


Рис. 10.1. Звездные дуги и облака нейтрального водорода в области сверхоболочки LMC 4 в БМО. Об однородной плотности водорода в этой области говорить не приходится

давлением из их центров. Внутри двух наиболее четких дуг (которым мы дали название Квадранта и Секстанта, рис. 10.2) вроде бы можно указать небольшие скопления, которые могли в свое время содержать О-звезды и Сверхновые, давление взрыва которых могло нагрести газовые оболочки, из которых затем образовались звезды. Радиус кривизны Квадранта около 300 пк, он содержит и скопления и отдельные звезды; радиус Секстанта — около 200 пк, он, в сущности, обрисовывается пятью скоплениями и их коронами.

Если верна гипотеза об образовании таких звездных комплексов из нагретого газа, то на более ранней стадии эволюции, до начала звездообразования, они должны наблюдаться как газовые оболочки, содержащие внутри породившее их звездное скопление. Газовые оболочки и сверхоболочки с диаметром до 1–2 кпк многочисленны в галактиках, но центральных скоплений в них обычно не видно. В нашей Галактике К. Хейлес обнаружил в 1979 г. 11 сверхгигантских оболочек без видимых звездных группировок внутри. Рассматривая проблему их происхождения, Хейлес заключил, что «...агент, ответственный за их происхождение, может быть новым неизвестным видом астрономических объектов». Однако большинство теоретиков до последнего времени полагало, что для таких заявлений ныне нет оснований. Проблема считается давно решенной, но это не так.

По возрасту и размерам сверхоболочки можно сказать, каковы должны быть параметры скопления, которое могло бы ее породить, и тем самым проверить «стандартную модель» происхождения сверхоболочек. В 1999 г. К. Роуд и ее коллеги провели тщательные поиски скоплений внутри сверхоболочек Н I в неправильной галактике Но II. Только в 6 из 44 сверхоболочек внутри они нашли скопления, характеристики которых — возраст и количество членов — совместимы с предположением, что они могли эти сверхоболочки породить.

Добавим к этому вопрос, который автор задавал теоретикам — если сверхоболочки образуются воздействием многих Сверхновых и горячих О-звезд на межзвездную среду, почему же вокруг множества скоплений, в которых эти объекты без сомнения были, никаких сверхоболочек не наблюдается. Четкого ответа не было. Предложено много объяснений происхождения сверхоболочек, но никто не объясняет их отсутствия!

Стандартная модель не срабатывает, по крайней мере во многих случаях. Была предложена и другая идея — падение на диск

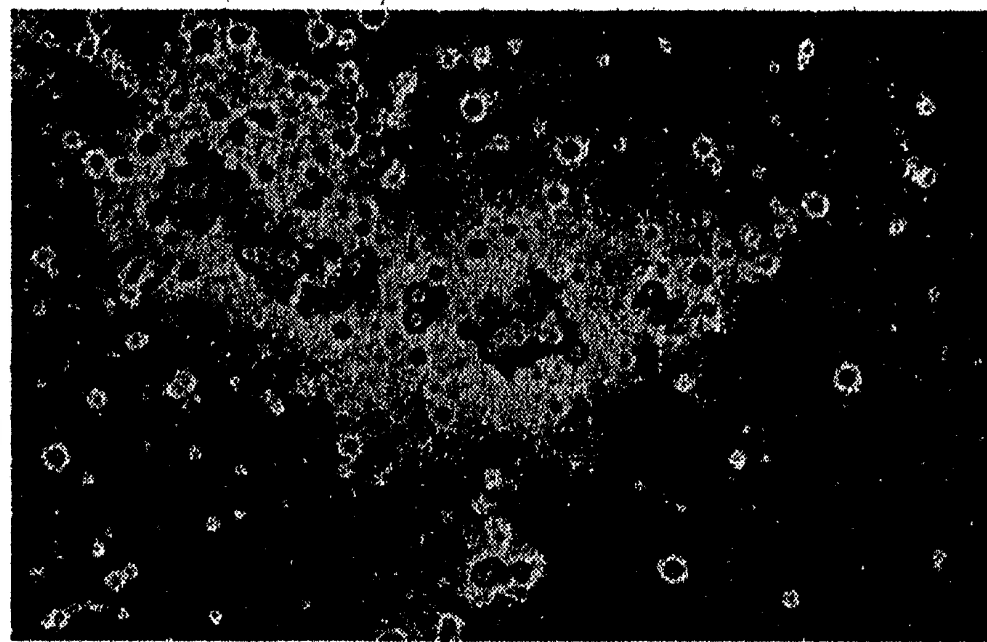


Рис. 10.3. Дуга Секстанта в ультрафиолетовых лучах, показывающих только молодые О-, В-, и А-звезды. Изображение получено на борту шаттла с помощью телескопа UIT

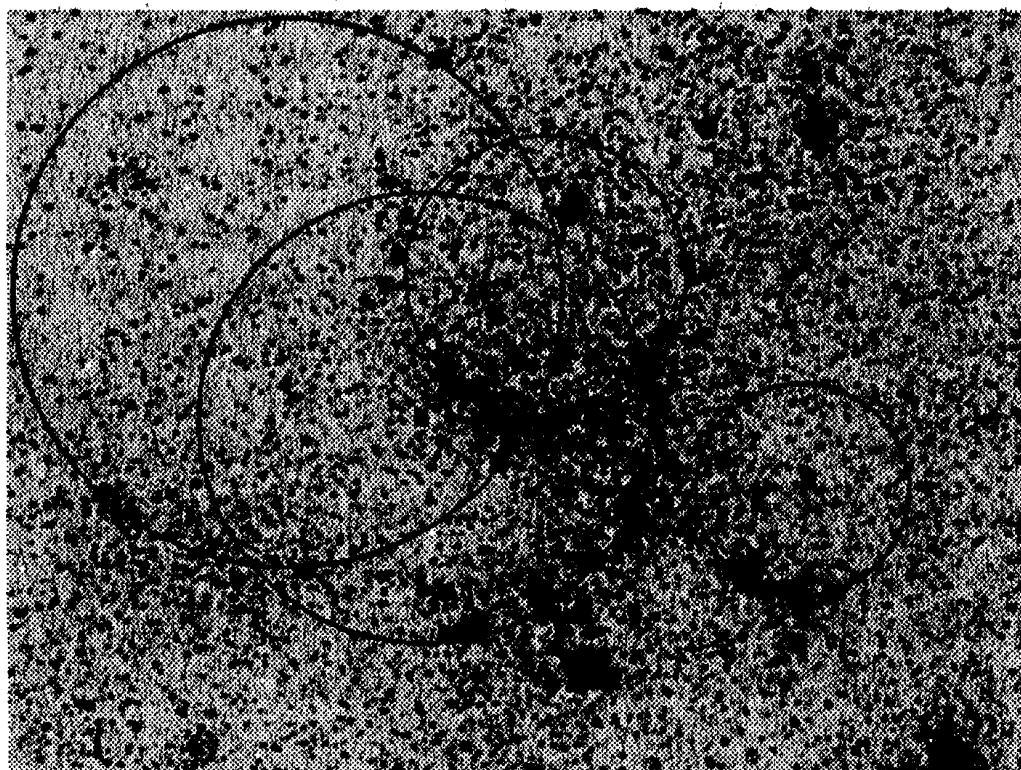


Рис. 10.2. Четыре звездные дуги являются частями правильных окружностей. В центре дуга Квадранта, на юго-западе (справа внизу) — Секстанта (напомним, что на астрономических изображениях восток находится слева и север вверху — как если бы наблюдатель смотрел всегда на юг)

галактик больших газовых облаков, столкновение которых с газом в галактической плоскости дает достаточную энергию для возникновения сверхоболочек. Однако близ ряда галактик с гигантскими сверхоболочками таких облаков нет.

Оставались загадочными и звездные дуги в БМО, — почему они образовались вокруг бедных звездных группировок и отсутствуют вокруг мно-

жества более богатых скоплений подходящего возраста, почему все дуги, известные в БМО, сгруппировались в пределах 1 кпк друг от друга? Неясно также, в рамках гипотезы образования из газовой оболочки, нагребенной центральным давлением, почему такие дуги — столь редкие образования. Систематические поиски во многих галактиках привели к обнаружению лишь дюжины похожих структур, и лишь пара из найденных дуг приближается к Квадранту и Секстанту по совершенству формы. А в том едва ли не единственном случае, в галактике IC 2574, когда в центре сверхоболочки находится скопление с подходящими характеристиками, а окружающие скопления заметно моложе, они беспорядочно разбросаны, а не располагаются по дуге окружности.

Тем не менее гипотеза о происхождении звездных дуг из нагребенного центральным источником давления газа представлялась единственно возможной. Необходимо было объяснить, что это за источники, если подходящих скоплений в центрах дуг нет, и почему они все (четыре или даже пять) взорвались поблизости друг от друга. Летом 1998 г. автора посетила довольно странная идея...

* * *

Обнаруженные в 1967 г. кратковременные вспышки гамма-излучения по 1973 г. составляли глубокий секрет Национальной обсерватории Лос-Аламос (США), сотрудники которой регистрировали их с помощью системы четырех спутников «Вела» (от исп. *velar* — быть на страже), предназначенной для регистрации ядерных взрывов. Их задачей было следить, не нарушается ли соглашение о запрещении этих взрывов в воздухе и космосе. Довольно скоро было установлено, что вспышки приходят из космоса, и наконец в 1973 г. побывавший с визитом в Лос-Аламосе известный физик Ф. Дайсон сказал своим коллегам, что даже Советам не под силу почти каждый день выводить в космос ракеты с водородными бомбами — надо публиковать сообщение о явлении.

Объяснить наблюдения было нелегко. Кратковременность явления (от долей до сотен секунд) указывала, что источником гамма-лучей являются очень компактные объекты, такие, как нейтронные звезды. Отсутствие концентрации к плоскости или к центру Галактики или же к близким галактикам оставляло только две возможности — они либо очень близко от нас, не дальше ближайших звезд, либо же очень далеко — и тогда это очень редкие явления в далеких галактиках. Главная трудность состояла в том, что гамма-вспышки ни в каком другом диапазоне спектра не обнаруживались. Напомним, что обнаружение оптических вспышек с тем же периодом, что и в радиодиапазоне, у звезды, подозревавшейся в том, что она является остатком вспышки Сверхновой, окончательно установило природу пульсаров. Она стала ясна через несколько месяцев после их открытия. Гамма-всплескам пришлось ждать тридцать лет.

Почти все гипотезы стали достоянием истории весной 1997 г. В конце февраля итальяно-голландский спутник BeppoSAX зарегистрировал

гамма-вспышку GRB 970228 (Gamma-ray burst 28 февраля 1997), на месте которой был обнаружен угасающий рентгеновский источник. Это позволило определить точные координаты, по которым на месте гамма-вспышки была найдена слабая галактика. Затем было обнаружено оптическое «послесвечение» у всплеска GRB 970508 — и слабая галактика на его месте, у которой удалось измерить красное смещение линий в спектре, оказавшееся равным $z = 0,835$. Это дает гигантское, «космологическое», как часто говорят, расстояние.

Ныне «послесвечение» наблюдалось уже у двух десятков гамма-всплесков, и мало кто сомневается в том, что они приходят с весьма далеких расстояний, в пределах которых достаточно много галактик. Если они изотропны, это означает чудовищные энергии вспышек, до $10^{53} - 10^{54}$ эрг, как у сотен и тысяч сверхновых звезд, вспыхнувших одновременно.

Осенью того же 1997 г. возникло подозрение, что остатки этих вспышек астрономы наблюдают давно и в большом количестве. Сверхмощные взрывы должны образовывать огромные полости в межзвездной среде. С. И. Блинников и К. А. Постнов первыми упомянули об этом в статье, посвященной природе гамма-всплесков. Когда такая мысль посетила и автора, и я пришел к К. А. Постнову посоветоваться о такой возможности, их статья была уже в печати. Затем совместно с Б. Эльмегрином и П. Ходжем мы рассмотрели эту возможность детально и заключили, что при существующих оценках частоты вспышек гамма-излучения (одна вспышка в десять тысяч—миллион лет) и времени жизни сверхоболочки в десятки миллионов лет, от 10 до 100 образованных таким путем сверхоболочек может наблюдаться в каждой галактике, подобной нашей, — что соответствует наблюдениям.

* * *

Итак, энергия взрывов, порождающих гамма-всплески, может быть на три-четыре порядка больше, чем у обычных сверхновых звезд, и они могут образовывать сверхгигантские оболочки H I, на гребне которых образуются затем звездные скопления. И тогда естественным образом объясняется отсутствие центральных скоплений во многих из них. Старая идея о сверхмощных взрывах, породивших звездные дуги, представлялась теперь хорошо обоснованной. Однако если это так, остается необходимость объяснить, почему все три гамма-вспышки, имевшие место в Большом Магеллановом Облаке за последние примерно 30 млн лет (как о том говорит возраст скоплений в дугах) происходили в одной и той же области, неподалеку друг от друга.

Естественно предположить наличие в этой области какого-то общего источника, в котором могли бы возникать предки гамма-вспышек; объекты, дальнейшая эволюция которых дает это явление. Большинство астрономов считает, что это массивные быстро вращающиеся звезды, сверхмощные взрывы которых сопровождаются явлением гамма-вспышки. Имеется также гипотеза, что гамма-всплески возникают при слиянии

нейтронных звезд друг с другом или с черной дырой. Излучение гравитационных волн при орбитальном движении в паре из таких объектов ведет к сближению и затем слиянию их компонентов. Естественно также предположить, что общим источником предков гамма-всплесков может быть достаточно богатое звездное скопление, в котором они могли возникнуть — и затем его покинуть.

Возникновение тесных двойных систем, включающих нейтронные звезды, при сближениях звезд в плотном скоплении и возможность их ухода из скопления неоднократно рассматривалась при изучении рентгеновских двойных звезд. Они являются именно тесными системами, включающими нейтронную звезду или черную дыру, аккреция вещества на которую и вызывает рентгеновское излучение. Это означает, в частности, что некоторые из этих двойных как раз и могут быть прогениторами гамма-всплесков; во всяком случае, они — их близкие родственники.

Если эта идея верна, неподалеку от звездных дуг должно быть богатое и плотное скопление. И такое скопление есть, всего лишь в нескольких десятках минут дуги, т. е. в нескольких сотнях парсек от звездных дуг. Это NGC 1978, возраст которого около 2 млрд лет. Оно самое яркое и, следовательно, самое богатое из всех скоплений такого возраста в Большом Магеллановом Облаке. По своему богатству, массе и плотности оно заслуживает название шарового, но классические шаровые скопления старше примерно на 10–12 млрд лет. Скопления такого типа — чрезвычайно редкие образования, в нашей Галактике, например, их нет совсем, скоплений с возрастом в несколько миллиардов лет у нас известно лишь несколько штук, и все они намного беднее, чем NGC 1978.

Более того, рядом с этим скоплением, всего в $18'$, находится еще один весьма необычный объект — и заведомый родственник гамма-всплесков! Это SGR 0526–66, единственный в БМО Soft Gamma Repeater, источник повторяющегося излучения мягких гамма-лучей. Он был обнаружен 5 марта 1979 г. и после долгих споров был признан членом БМО. Решающую роль сыграло то обстоятельство, что объект находится внутри яркого молодого остатка сверхновой N 49 (рис. 10.4). Сейчас в нашей Галактике известно пять или шесть подобных объектов, и считалось, что все они связаны с молодыми остатками сверхновых. В последнее время эта связь оспаривается, но зато выясняется, что они могут быть связаны с молодыми компактными скоплениями. По всей видимости, «мягкие гамма-повторители» — какие-то родственники объектов, порождающих обычные гамма-всплески.

Все эти соображения пришли мне в голову в июне 1998 г. при обдумывании доклада о звездных дугах на Симпозиуме по Магеллановым Облакам. Среди докладов на этом симпозиуме было сообщение Ф. Хаберла, в котором говорилось о концентрации рентгеновских двойных в области сверхоболочки LMC 4. Казалось, что гипотеза, о которой рассказано выше, объясняет и это явление.

Действительно, рядом друг с другом, в области с поперечником около полутора килопарсек, находится наибольшая в Большом Магеллановом

Облаке сверхоболочка, три или четыре звездные дуги, которых нигде больше в БМО нет, здесь же концентрируются двойные рентгеновские звезды и находятся единственный в Облаке «мягкий гамма-повторитель» (рис. 10.4). И здесь же находится скопление, уникальное по своему богатству, возрасту и вытянутой эллиптической форме — NGC 1978. Предположения о том, что все эти объекты, как и те, что породили звездные дуги, — выходцы из этого скопления, казалось вполне естественным.

Проблема, однако, состояла в том, что непосредственно вокруг NGC 1978 звездных дуг нет. Таким образом, объекты, их породившие, должны обладать уникальным сочетанием свойств — они должны рождаться в скоплении, но должны покинуть его прежде, чем они взорвутся, причем уйти на далекое расстояние, до нескольких сотен парсек. Казалось бы, несовместимые требования — но мы можем указать такие объекты. Более того, именно они были предложены много лет назад как один из кандидатов в прогекторы гамма-всплесков, вне какой бы то ни было связи со звездными скоплениями или дугами.

Уникальный вид объектов, которые рождаются именно в звездном скоплении, но неизбежно с течением времени покидают его — это как раз тесные двойные системы, оба компонента которых — компактные объекты, нейтронные звезды или черные дыры. Они образуются в плотных центральных частях скоплений в результате тройных звездных сближений. Хорошо известно, что именно такого рода процессами объясняется высокая, на два порядка больше, чем в поле, относительная частота рентгеновских двойных звезд в шаровых скоплениях. Столь же хорошо известно — это т. н. закон Хегги, — что сближение тесных двойных с другими членами скопления делают их более тесными за счет увеличения дисперсии скоростей в скоплении (тогда как более широкие пары сразу же разбиваются). При каждом новом сближении с третьей звездой тесная двойная становится все более тесной, и уменьшение ее потенциальной энергии приводит к увеличению ее скорости движения в скоплении — как говорят, система приобретает все большую скорость отдачи. В системе из нормальных звезд наконец происходит слияние ком-

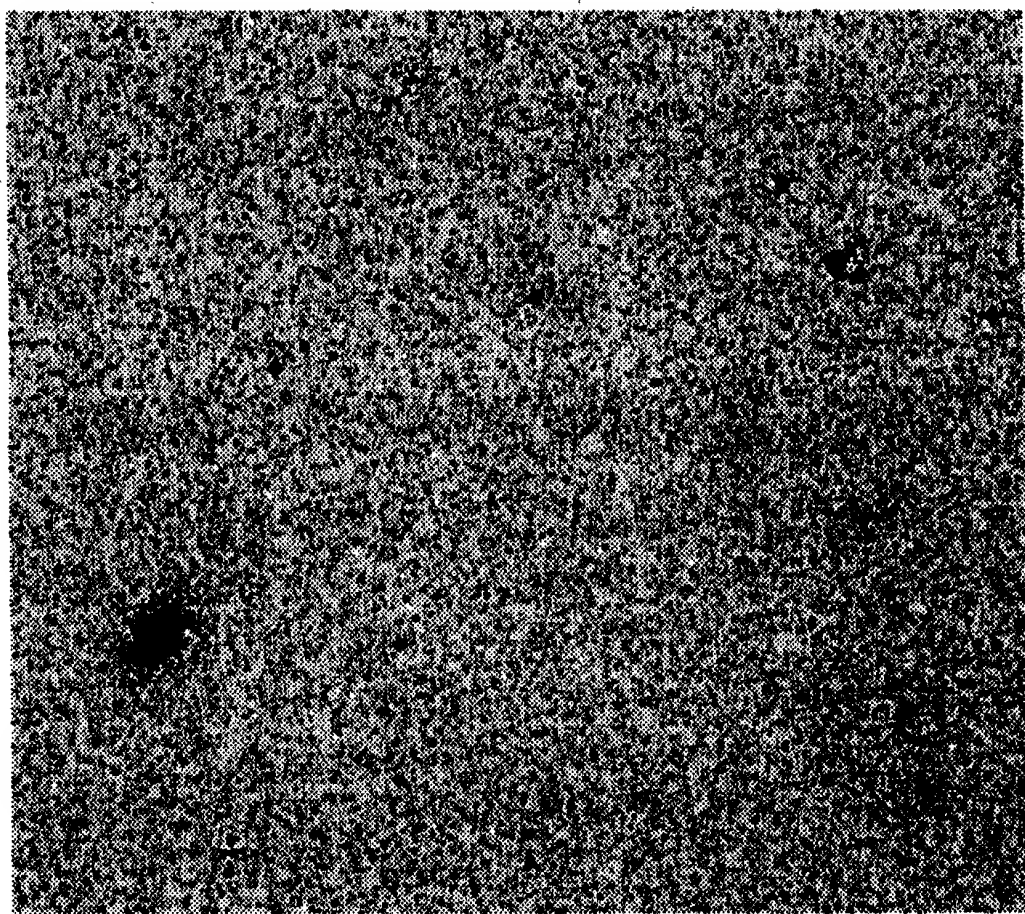


Рис. 10.4. Звездное скопление NGC 1978 (слева внизу) и остаток сверхновой N 49 (справа сверху)

понентов, в результате которого образуется пекулярная голубая звезда — blue straggler.

Однако, если система состоит из двух компактных объектов, расстояние между компонентами имеет огромные возможности для уменьшения, и в результате многократных сближений с проходящими поблизости звездами двойная система компактных объектов приобретает в конце концов скорость, достаточную для ухода из скопления, которая для типичного шарового скопления составляет около 40 км/с. Считается, что модель слияния нейтронных звезд или черных дыр предполагает, что гамма-вспышки должны наблюдаться далеко от родительских галактик, ибо скорости таких двойных систем велики, а время до слияния очень долгое. Этого наблюдения послесвечения гамма-вспышек (afterglow) не подтверждают — они почти всегда обнаруживаются внутри галактик.

Однако двойные системы из компактных объектов, выброшенные из массивных скоплений, будут уже очень тесными и сливаются поэтому достаточно быстро, так что и должны наблюдаться не так уж далеко от родительского скопления. Так, при скорости в 40 км/с объект уйдет от места рождения на 400 парсек за время в 10 млн лет. Расстояния звездных дуг в БМО от скопления NGC 1978 составляют в проекции 400 и 800 парсек.

С. Портегис Зварт и С. МакМиллан, опубликовавшие в 2000 г. результаты серии вычислений на суперкомпьютере GRAPE-4, отмечают, что время, требуемое для образования и выброса двойных черных дыр из плотных звездных систем, составляет немногие миллиарды лет. Это означает, что вокруг классических шаровых скоплений с возрастом порядка 12 млрд лет никаких следов вспышек не должно наблюдаться. Выброшенные из них пары компактных двойных могли дать вспышку гамма-излучения очень давно.

Отметим, что большинство этих вспышек наблюдается при красных смещениях, соответствующих возрасту именно в несколько миллиардов лет, а их суммарное распределение в родительской галактике напоминает распределение шаровых скоплений. Наши аргументы в пользу возникновения прогениторов гамма-всплесков в тесных двойных системах, образовавшихся при звездных сближениях в плотных ядрах массивных скоплений остаются в силе. Во всяком случае, представление о том, что рентгеновские двойные системы возникают в плотных скоплениях и выбрасываются из них, теперь можно считать доказанным и наблюдательно и теоретически.

Однако воздействие гамма-излучения на межзвездную среду многие считают слишком слабым для образования оболочек нагретого газа. Кроме того, накапливается все больше аргументов в пользу предположения о том, что гамма-всплеск является сильно коллимированным выбросом и истинная его энергия сравнима с энергией взрывов обычных сверхновых звезд. Однако он может сопровождать взрыв гиперновой, по крайней мере на порядок более мощный, чем у обычной сверхновой.

Не исключено, что прогениторами звездных дуг могли быть микроквазары, разновидность рентгеновских двойных систем, из компактных компонентов которых бьют узкие джеты релятивистских частиц, благодаря чему они излучают и в радиодиапазоне. Самым известным примером микроквара является объект SS 433, двойная система в остатке сверхновой W50. Компактный компонент этой системы является черной дырой, которая аккрецирует вещество от соседа и выбрасывает длинные узкие струи плазмы, движущейся с субрелятивистскими скоростями. Как обнаружила в 1998 г. Г. Дубнер и др., эти прецессирующие струи, воздействуя на межзвездную среду в течение примерно 10 000 лет, прошедших после вспышки сверхновой, успели образовать вокруг SS 433 полость с размером около 100 пк. Аккреция и выброс струй плазмы может продолжаться еще несколько миллионов лет и в результате может — скорее даже должна — появиться гигантская газовая оболочка, в которой может пойти процесс звездообразования. Молодые скопления, рожденные под действием энергичных джетов, бьющих из центров галактик, хорошо известны в галактиках Кентавр А и NGC 4258.

Мы уже отмечали необычную концентрацию рентгеновских двойных звезд к северу от звездных дуг и вблизи скопления NGC 1978. Это бесспорный наблюдательный факт, чем бы эта концентрация не объяснялась. Эта область находится на северной окраине БМО, плотность водорода там мала, и вероятно поэтому звездные дуги могли образоваться только южнее. И. Мирабель и другие авторы отмечали высокие скорости нескольких микроквazarов в нашей Галактике и возможность их выброса из плотных массивных скоплений. В ряде двойных систем аккреция на компактный компонент, вызывающая рентгеновское излучение, может продолжаться многие миллионы лет, и не исключено, что некоторые из наблюдаемых ныне далеко от звездных дуг рентгеновских двойных и были их прогениторами, находясь тогда на стадии микроквара.

Статья автора, в которой выдвигалось это предположение, в феврале 2003 г. была отклонена журналом «Письма в АЖ» — второй раз в моей практике. Этот же журнал в 1985 г. отклонил мою статью, в которой впервые говорилось об иерархической структуре молодых звездных группировок — мысль, которая давно стала тривиальной (См.: Ю. Н. Ефремов, А. Д. Чернин // Успехи физ. наук. № 1. 2003).

* * *

Как рассказывал Поль Ходж, он искал системы дуг, похожих на отмеченные им в БМО, во многих других галактиках, но нашел еще лишь одну — в спиральной галактике NGC 6946. Ходж описал этот объект в той же статье 1967 г., что и звездные дуги в БМО, и мы будем называть его комплексом Ходжа. Прошло более тридцати лет, прежде чем эта загадочная структура привлекла внимание. В 1999 г. появилась моя статья, где обращалось внимание на возможность наличия внутри этого комплекса яркого скопления. В том же году С. Ларсен и Т. Рихтлер

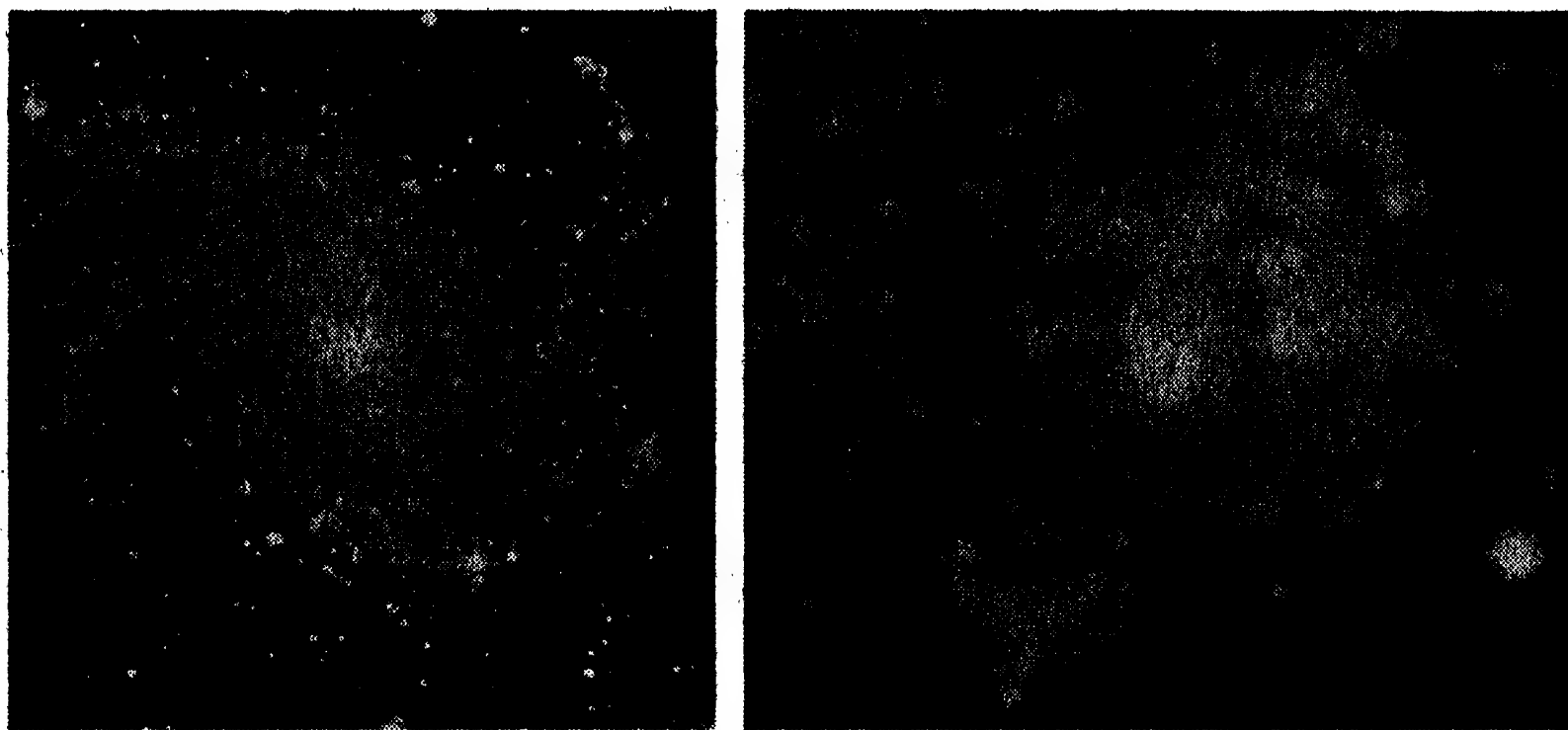


Рис. 10.5. Слева: спиральная галактика NGC 6946. Объект Ходжа находится справа близ обреза рисунка. Справа: объект Ходжа в большем масштабе. Обратите внимание на правильную дугу западной его границы. Изображение получил С. Ларсен на 2,5-метровом телескопе NOT на острове Ла Пальма

независимо переоткрыли комплекс Ходжа, описав его как сферическое скопление звездных скоплений (рис. 10.5 и 10.6). Внутри него они действительно нашли молодое богатое скопление, самое яркое из всех молодых массивных скоплений в изученных ими 21 спиральной галактике. Затем большой международный коллектив, в котором участвует и автор, предпринял всестороннее изучение этого комплекса.

Наблюдения комплекса Ходжа на Космическом телескопе им. Хаббла (HST) обнаружили в нем около 20 богатых молодых скоплений, помимо известного ранее гигантского скопления с возрастом около 15 млн лет, которое, судя по светимости и возрасту, имеет огромную массу — около 10^6 солнечных (рис. 10.6).

На 10-метровом телескопе Кеск-I была определена дисперсия скоростей звезд в нем и было найдено, что динамическая масса скопления близка к этому же значению — скопление, следовательно, является гравитационно связанным и превратится со временем в классическое шаровое скопление.

Спектроскопия в линии ионизованного водорода H_α — всего комплекса и его окружения на 6-метровом телескопе БТА в САО РАН и центрального скопления на Кеск-I — показала, что лучевая скорость этого скопления составляет 150 км, что на 20–30 км/с превышает локальную скорость вращения галактики. Это небольшое отличие совместимо с гипотезой образования комплекса в результате наклонного падения быстрого и массивного облака газа на плоскость галактики.

Лучевые скорости ионизованного водорода обнаруживают большие возмущения поля скоростей внутри комплекса, в том числе и глубокий провал, который может отражать существование быстро расширяющейся газовой оболочки, центр которой, однако, находится в 200 пк от мо-



Рис. 10.6. Изображение объекта Ходжа, полученное на космическом телескопе им. Хаббла

лодого шарового скопления (рис. 10.7). Не исключено, что в комплексе наблюдаются вихревые движения газа.

Странной особенностью этого комплекса является то, что ни одна из двух десятков обширных полостей в распределении нейтрального водорода в NGC 6946 его не окружает. Как уже говорилось, их возникновение приписывается воздействию на межзвездную среду Сверхновых и скоплений горячих звезд, либо же падению быстрых облаков. Любопытно, что комплекс находится близ границы полости H I, самой большой в галактике, однако же вне ее. Можно выдвинуть экстравагантную гипотезу о том, что комплекс является уединенным вихрем, который обладает способностью дрейфовать в галактике относительно других объектов, вращающихся вокруг центра (наподобие Красного пятна — солитона в атмосфере Юпитера). Образование полости в H I началось давно, когда в комплексе было много Сверхновых и O-звезд, на расширение полости также требуется время, в течение которого источник центрального давления — комплекс вместе с его молодым шаровым скоплением — мог успеть выйти за границы полости.

С другой стороны, отсутствие сверхоболочки вокруг этого объекта, а также некоторое отличие его лучевой скорости от локальной скорости NGC 6946 может говорить о том, что мы наблюдаем только начало процесса падения карликовой галактики, с уже готовыми звездами и газом, на диск NGC 6946, и дуга пыли и газа на западе комплекса Ходжа только

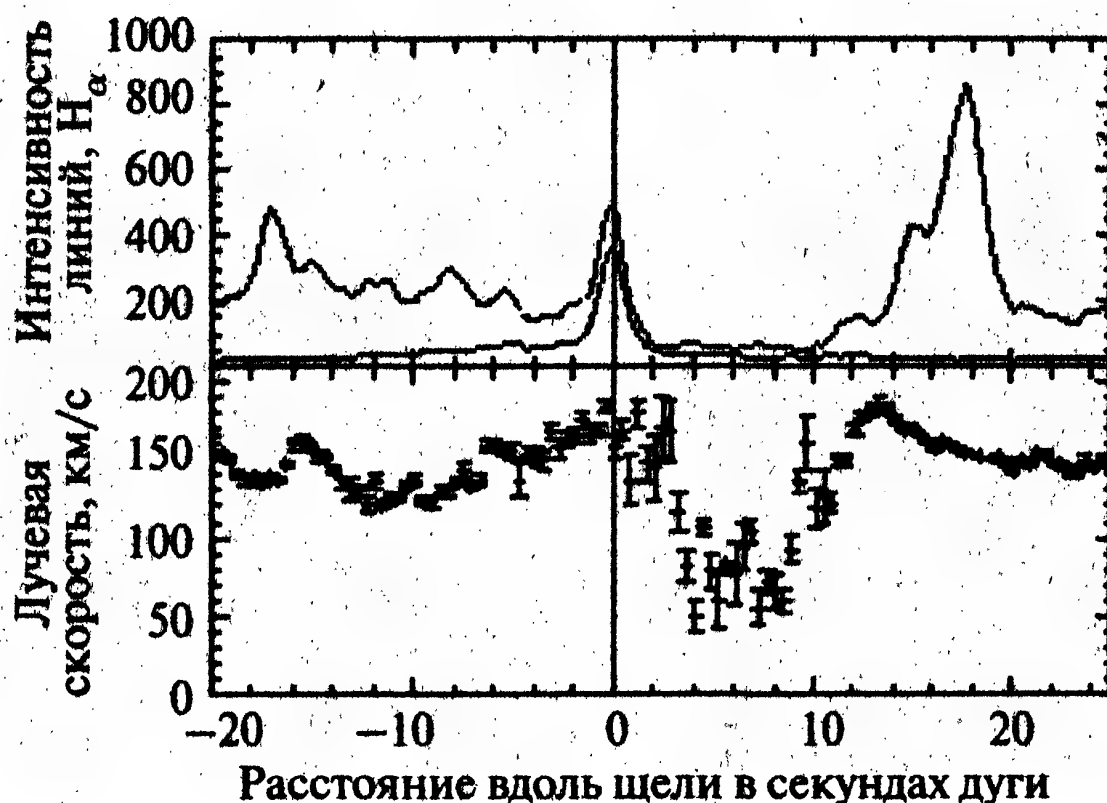


Рис. 10.7. Кривая лучевых скоростей по линии H_α в сечении комплекса Ходжа при позиционном угле щели спектрографа 83° . Ноль абсцисс соответствует положению гигантского скопления. Глубокий провал справа интерпретируется как быстро расширяющаяся полусфера ионизованного водорода, происхождение которой не вполне ясно. На 6-метровом телескопе САО РАН наблюдали С. Пустыльник, Ю. Князев и А. Прамский

начинает образовываться при контакте с газом диска NGC 6946. Карликовые галактики с активным звездообразованием известны и вокруг NGC 6946. Возможно, что объект Ходжа является просто одной из таких галактик и лишь проецируется на диск NGC 6946. Карликовые компактные галактики довольно часто имеют кометообразную форму и содержат гигантские молодые скопления (рис. 10.8). Лучевая скорость объекта Ходжа примерно на 25 км/сек больше, чем у окрестных районов NGC 6946 (рис. 10.8), и примерно на столько же больше наибольшей скорости галактик в группе NGC 6946 — различие слишком маленькое, чтобы можно было сделать определенные выводы.

* * *

Поразительной особенностью дугообразных звездных комплексов в БМО и NGC 6946 является то, что большие участки их границ очень близки по форме к дугам идеально правильных окружностей (рис. 10.2). Эта геометрия способна, возможно, подсказать ответ на вопрос о происхождении этих структур. Плоскости и БМО, и NGC 6946 наклонены к картинной плоскости (на угол около $30-40^\circ$), так что дуги окружностей, лежащих в плоскости галактики выглядели бы эллипсами, заметно отличающимися от наблюдаемой картины. Естественным объяснением этой правильной формы является предположение, что эти структуры являются сегментами сферических слоев (в случае дуг Квадранта и Секстанта в БМО) или сегментом заполненного шара (в случае комплекса Ходжа в NGC 6946), видимыми сбоку, а не плоскостными дугами окружности.

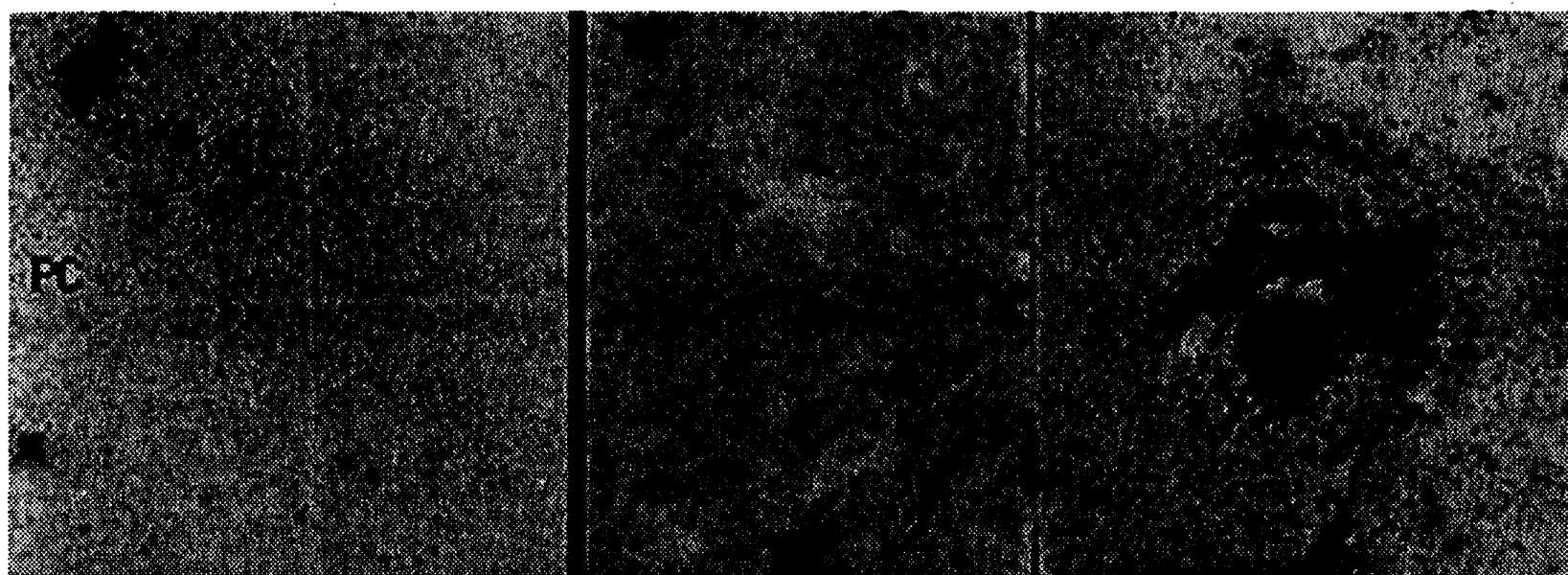


Рис. 10.8. Объект Ходжа (справа); слева, в том же линейном масштабе, карликовая кометарная галактика UGC 4483 в группе галактик М 81. Ее форма безусловно связана с движением сквозь межгалактический газ группы М 81. Изображения получены на телескопе им. Хаббла. Негативное изображение

В мире галактик почти правильные полусферы известны. Газовая корона галактики, движущейся в достаточно плотной межгалактической среде, под воздействием динамического давления приобретает характерную кометообразную форму, с резкой полукруговой границей, направленной в сторону движения. Так, внешние изоденсы Н I для неправильной галактики Но II и спиральной галактики NGC 7421 имеют с одного края форму правильной дуги окружности, что рассматривается как проявление головной ударной волны, возникающей при движении галактики сквозь межгалактический газ.

Правильную дугу окружности, ограничивающую с юга звездный диск карликовой галактики DDO 165 (рис. 10.9) в группе М 81, трудно объяснить иначе как следствием того, что звездообразование в этой галактике в существенной степени определялось динамическим давлением межгалактического газа, и обращенный в сторону движения край галактики сохранил дугообразную форму головной ударной волны. Такую же форму имеет западный край спиральной галактики NGC 2276, члена группы NGC 2300, и ее повторяют и изоденсы ионизованного водорода, наиболее плотного именно вдоль этой полукруглой границы.

Итак, форма границы звездного диска галактики может отражать форму головной ударной волны, возникающей при движении галактики сквозь межгалактический газ. Тогда естественно предположить, что дугообразные звездные комплексы образовались при наклонном падении плотного газового облака на газ галактического диска, и звездообразование было стимулировано головной ударной волной на передней поверхности облака. Трудностью для этой гипотезы является наличие нескольких дуг в БМО по соседству друг с другом и отсутствие возмущений скоростей Н I в этой области. Однако комплекс Ходжа в NGC 6946 вполне мог возникнуть в результате наклонного падения быстрого плотного облака, двигавшегося сквозь газовый диск галактики. К этому надо добавить, что правильная дугообразная форма западной границы комплекса обусло-

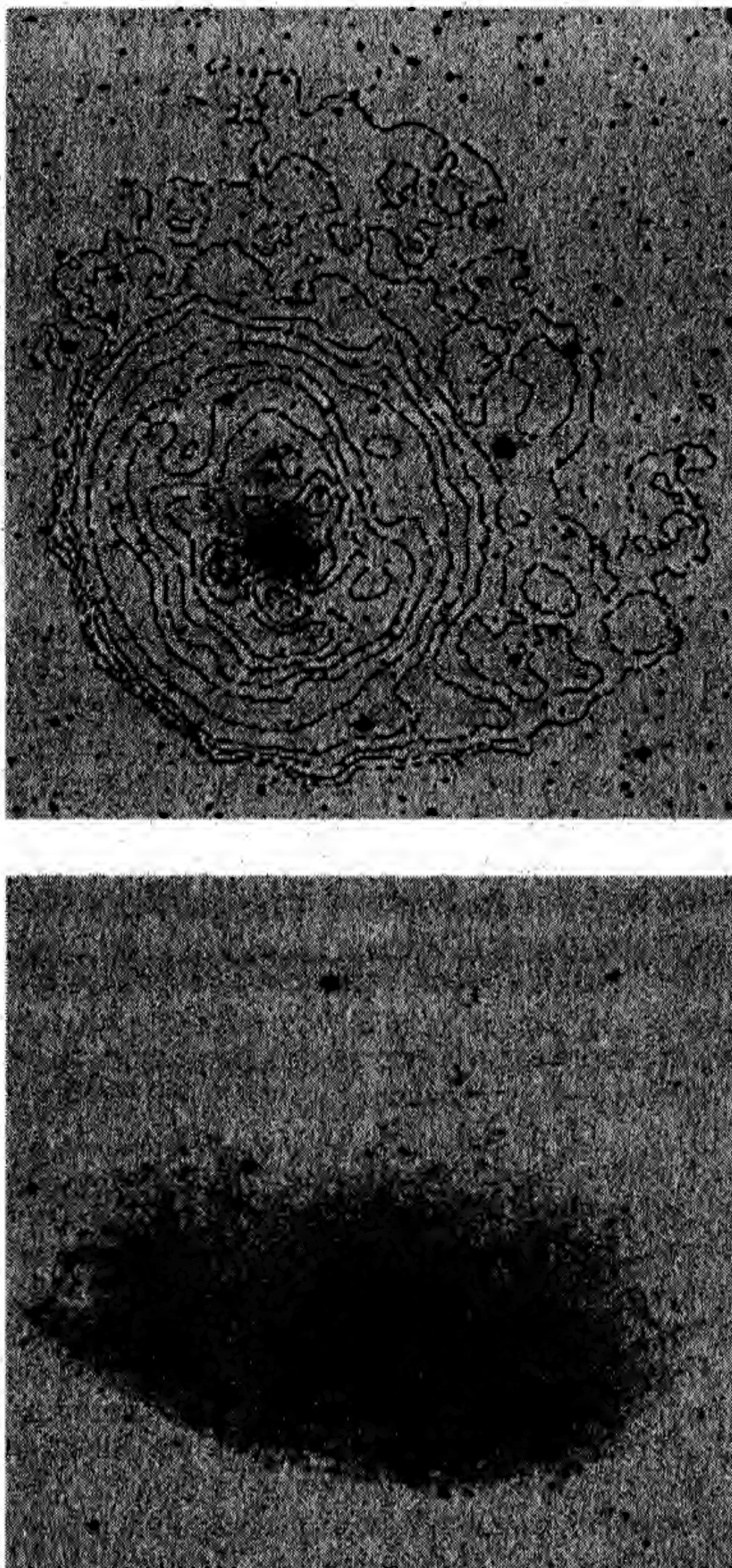


Рис. 10.9. Изоденсы HI неправильной карликовой галактики Ho II (вверху) и изображение карликовой галактики DDO 165 (внизу), полученное И. Д. Караченцевым на 6-метровом телескопе. Обе галактики находятся в группе M 81, и их полукруглая форма, без сомнения, является результатом головной ударной волны, возникающей вследствие динамического давления при движении сквозь межгалактический газ

влена высоким локальным поглощением света. Это связано, возможно, с дугообразной ударной волной на границе газового диска NGC 6946 и вторгшегося объекта, сформировавшей плотную дугу газа и пыли.

По всем своим характеристикам комплекс Ходжа является реликтом изолированной вспышки звездообразования, максимальная интенсивность которого наблюдалась в нем около 5–30 млн назад. Относительное количество скоплений в нем представляется аномально большим, а присутствие молодого шарового скопления и вовсе не оставляет сомнений в том, что звездообразование в комплексе было стимулировано ударными волнами, происхождение которых, однако, еще до конца не ясно. Дугообразный комплекс на западе галактики М 83 и дуга Секстанта в БМО состоят из 5–8 скоплений, что также говорит о том, что стимулированное звездообразование ведет преимущественно к образованию звездных скоплений.

Мы заключаем, что необычные звездные комплексы проливают свет на самые загадочные аспекты звездообразования — и прольют еще больше, потому что детальное изучение этих комплексов на больших телескопах только начинается.

ГАЛАКТИКА «МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ»

Нельзя поверить астрономическим наблюдениям, пока их не подтвердит теория.

Артур Эддингтон

Хорошие наблюдения никогда не умирают, а теории увядают.

Харлоу Шепли

В практику, служащую нам критерием в теории познания, надо включить также практику астрономических наблюдений, открытий и т. д.

Владимир Ильич Ленин

Главная трудность при исследованиях строения нашей Галактики состоит в том, что Солнце очень неудачно расположено — почти точно в плоскости Галактики. Будь оно звездой короны Галактики, мы непосредственно видели бы грандиозную картину спиральных ветвей Галактики, которые сливаются сейчас в аморфную полосу Млечного Пути. В плоскости Галактики расположена к тому же межзвездная газо-пылевая материя, поглощающая свет звезд.

В гигантских молекулярных облаках поглощение света (A_V) достигает $\sim 30^m$, и за ними в оптическом диапазоне вообще ничего не видно; их угловые размеры невелики, но области с меньшим поглощением занимают на небе огромные площади. Поглощение не только затрудняет определение расстояний, но и вообще не позволяет увидеть в оптическом диапазоне центральные области Галактики и тем более лежащие за ними районы. Неудивительно поэтому, что многие представления о строении нашей Галактики родились в результате изучения других галактик. Собственно говоря, только с их открытия и начинается подлинное изучение нашей Галактики — не как всеобъемлющей звездной Вселенной, а как одной из бесчисленного множества звездных систем.

К 1940-м гг. было надежно установлено, что Галактика состоит из центрального вздутия (балджа), окруженного дискообразной системой звезд, и галактической короны (гало) — почти сферической, менее густо населенной системы. Было ясно, что вид с ребра на нашу Галактику должен быть очень похож на вид спиральных галактик, например, на NGC 4594 в созвездии Девы или, скорее, NGC 4565 в созвездии Волос Вероники (рис. 11.1). В галактике NGC 4594 великолепно можно рассмотреть деление звездного населения на плоскую и сфероидальную системы и концентрацию поглощающей свет пылевой материи к экваториальной плоскости. Многие звездообразные объекты, видимые на снимке, являются шаровыми звездными скоплениями этой галактики. Относительные размеры ядерного утолщения диска (балджа) уменьшаются при переходе от Sa к Sc. В галактиках поздних типов балдж вообще отсутствует.

Размеры, масса, закономерности вращения нашей Галактики очень напоминали наблюдаемые у ближайшей спиральной галактики — М 31 в созвездии Андромеды; было естественно думать, что, как и туманность Андромеды, наша Галактика имеет спиральные ветви.

Ключ к установлению положения спиральных ветвей Галактики опять же дали исследования близких галактик. Главным образом работами В. Бааде на 100-дюймовом рефлекторе в 1945–1949 гг. было установлено, что в туманности Андромеды в спиральных рукавах концентрируются прежде всего горячие звезды высокой светимости и эмиссионные туманности; Бааде обнаружил также, что в рукавах повышена и плотность межзвездной пыли, а следовательно и газа. Только когда шаровое скопление в М 31 попадает за спиральный рукав, оно показывает большой избыток цвета. Таким образом, отсутствие эмиссионных туманностей (т. е. областей ионизованного водорода, H II, возбужденного излучением соседних горячих звезд; в спектре областей H II видны светлые, эмиссионные линии) вне спиральных ветвей объясняется тем, что не только горячие звезды, но и газ концентрируется в этих ветвях.

Первое исследование спиральной структуры Галактики, приведшее к подтверждающимся и ныне результатам, основывалось именно на данных об эмиссионных туманностях. Это была работа Моргана, Шарплесса и Остербрука, выполненная в 1952 г. Вскоре примерно такое же распределение эмиссионных туманностей в галактической плоскости было найдено В. Ф. Газе в Симеизе, а в 1958 г. близкие результаты были получены И. М. Копыловым, определившим расстояния группировок горячих звезд. Все эти работы показывали, что спиральные ветви Галактики закручиваются, т. е. направление вращения Галактики совпадает с направлением от конца ветви к ядру Галактики.

Этот вывод подтвердил в 1959 г. Б. Е. Маркарян, который нашел, что наиболее молодые скопления концентрируются в трех отрезках спиральных ветвей, а старые объекты распределены в диске Галактики равномерно.

Замечательный результат Б. Е. Маркаряна, окончательно доказавшего, что спиральные рукава являются областями образования массивных

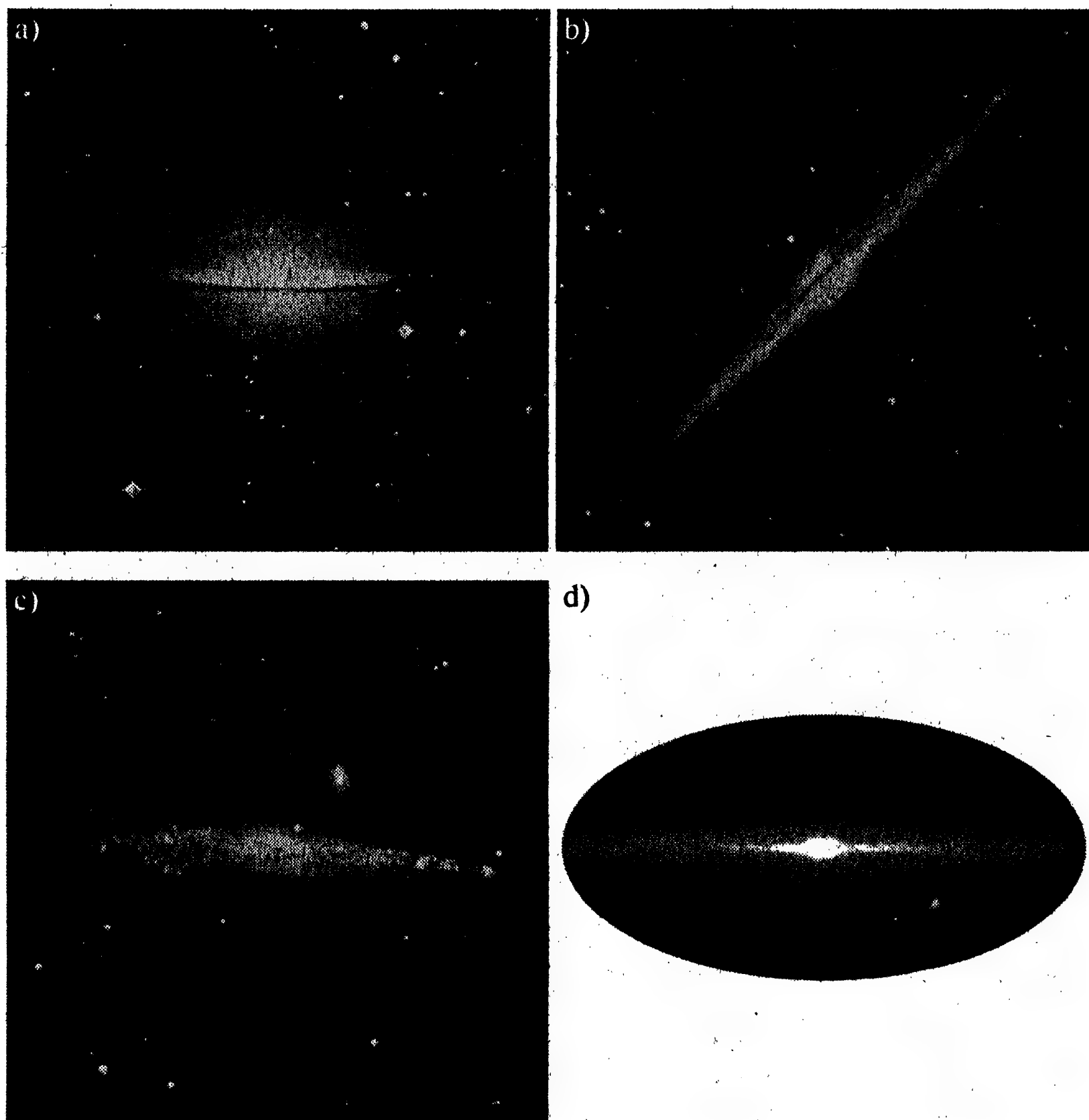


Рис. 11.1. Четыре спиральные галактики, видимые с ребра: а) NGC 4594 («Сомbrero») типа Sab, в созвездии Девы; б) NGC 4565 типа Sb в созвездии Волос Вероники; в) NGC 4631 типа Sc в созвездии Гончих Псов. Снимки получены на 48-дюймовой камере Шмидта обсерватории Маунт Паломар; д) Млечный Путь в южном полушарии неба. Хорошо видны центральное вздутие Галактики, а также Магеллановы Облака (справа внизу). Это результат большой коллективной работы по обзору всего неба в инфракрасной области на длине волны два микрона. АКД (Астрономическая картинка дня), 19 июля 2002 г.

звезд, остался незамеченным, и в 1963 г. был повторен В. Беккером, показавшим, что лишь скопления, содержащие звезды O–B2, концентрируются в отрезках спиральных рукавов, угол закручивания которых (т. е. угол между ними и проведенными вокруг центра Галактики окружностями) составляет около 25° . С тех пор все оптические исследования в целом подтверждают существование этих трех отрезков, причем по названию созвездий, в направлении которых они в основном проецируются,

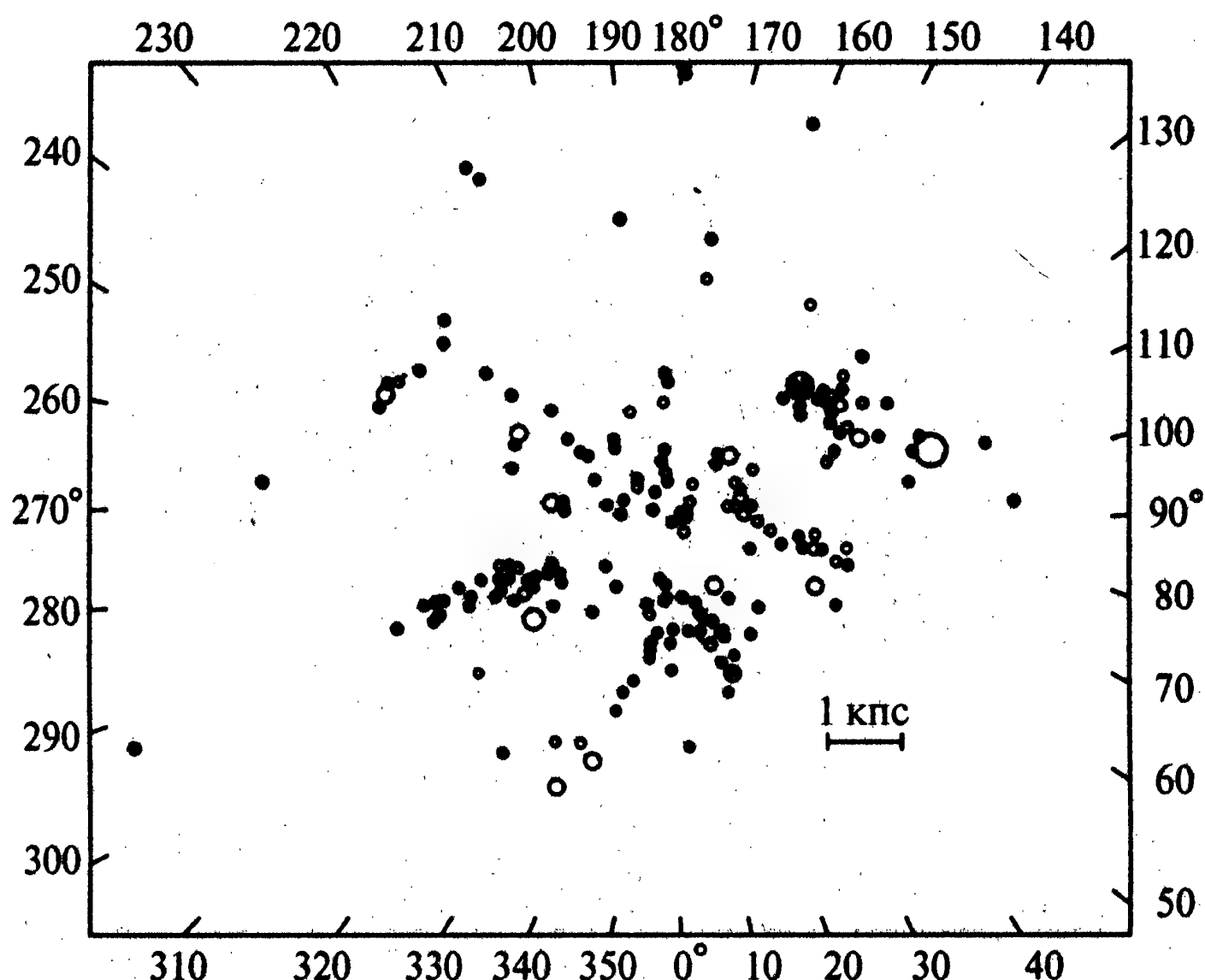


Рис. 11.2. Распределение молодых скоплений (точки) и О-ассоциаций (кружки) в окрестностях Солнца, находящегося в центре полярных координат. Рукав Орион—Лебедь, в котором расположено Солнце, по-видимому, является ответвлением от рукава Киля—Стрельца. Данные Р. Хемфрис

им были даны названия рукавов Персея, Ориона—Лебеда (или Солнечного, Местного рукава, потому что Солнце находится близ его внутреннего края) и рукава Киля—Стрельца (рис. 11.2).

Поскольку расстояния цефеид известны с такой же точностью, как у хорошо изученных скоплений, их также можно использовать для изучения спиральной структуры. Лишь рукав Киля—Стрельца выделяется как область повышенной плотности цефеид всех периодов, а к остальным рукавам концентрируются только более молодые, но немногочисленные цефеиды наибольших периодов, так что локализовать два других рукава только по цефеидам было бы невозможно (рис. 11.3). Скорее всего, рукав Киля—Стрельца действительно является наиболее мощным из доступных изучению оптическими методами. Правда, плотность цефеид всех периодов довольно высока и в направлении созвездия Лебедь, и некоторые исследователи поддерживают старое предположение Б. Бока о том, что рукав Киля переходит в рукав Лебеда, а не Стрельца.

Имеется сильная зависимость картины спиральной структуры в окрестностях Солнца от условий видимости. За пылевыми комплексами видимая плотность цефеид может быть меньше просто потому, что они на несколько величин ослабляют блеск звезд, и открыть цефеиду становится гораздо труднее; направление на рукав Киля как раз совпадает

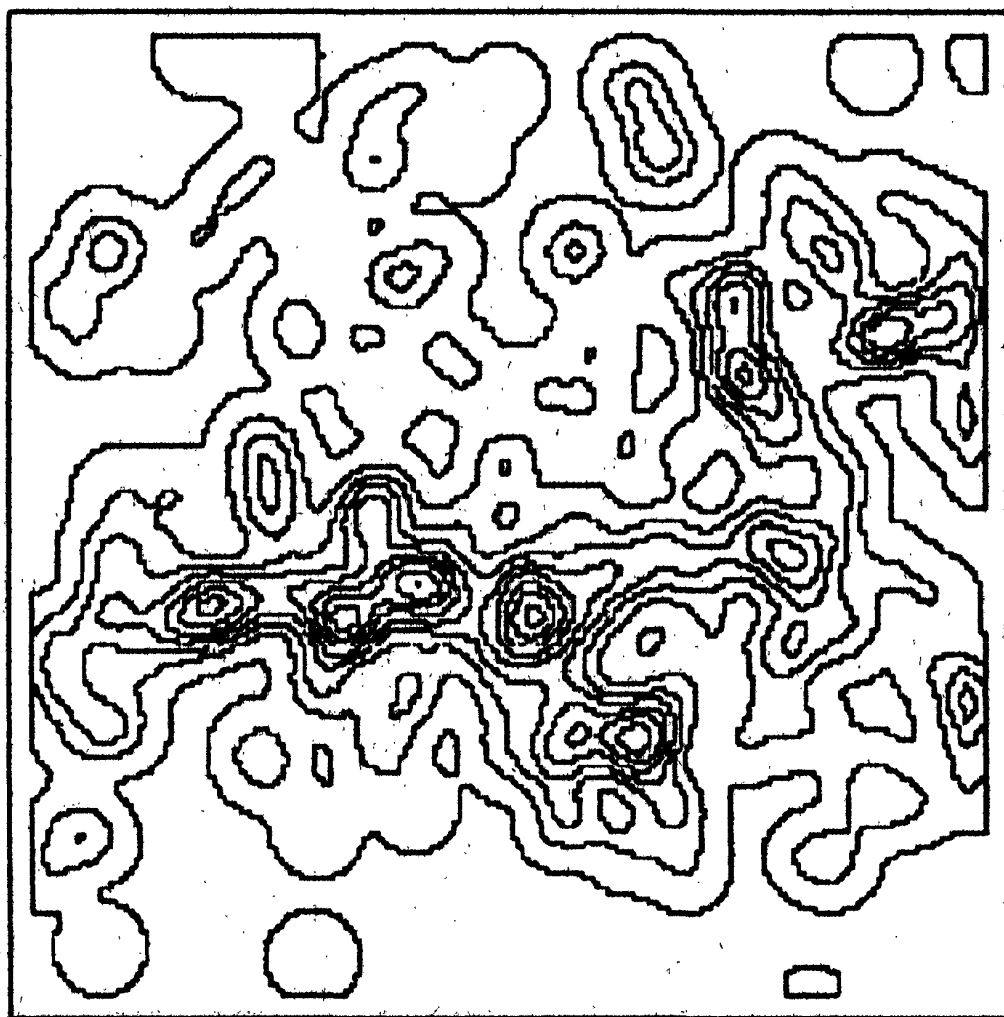


Рис. 11.3. Изолинии плотности цефеид в окрестностях Солнца обрисовывают лишь один рукав Киля—Стрельца. Показана область 6×6 кпк с центром в Солнце, центр Галактики внизу, как и на рис. 11.2

с окном прозрачности. Оказалось далее, что уже между расстояниями от Солнца в 1 и 2 кпк половина цефеид остается еще неоткрытой, а между 3 и 4 кпк мы знаем лишь третью их часть. Такого же рода селекция действует и в отношении всех других индикаторов спиральной структуры: хотя отдельные наиболее далекие цефеиды, звезды типа Вольфа—Райе (горячие звезды высокой светимости, интенсивно теряющие вещество и, значит, очень молодые) и области Н II с О-звездами обнаруживаются до расстояний в 7–10 кпк от Солнца, с минимально необходимой полнотой эти объекты известны лишь до расстояний в 3–5 кпк, и экстраполяция данных об их распределении на всю Галактику более чем рискованна.

* * *

На помощь приходят данные о распределении нейтрального водорода, для излучения которого на длине волны 21 см межзвездная среда прозрачна.

В развитии этого направления советские астрономы были в числе первых: интереснейшие сведения об этом приводит И. С. Шкловский¹⁾.

В 1947 г. стало известно, что по расчетам молодого голландского астронома Х. ван де Хюлста межзвездный водород излучает на длине

¹⁾ Шкловский И. С. Из истории развития радиоастрономии в СССР. М.: Знание, 1982. Эта новелла помещена также в книгу воспоминаний о И. С. Шкловском — «Разум, жизнь, Вселенная» (М.: Янус, 1996).

волны 21 см, т. е. в радиодиапазоне, а в следующем году И. С. Шкловский показал, что эту радиолинию можно наблюдать уже при существовавшем тогда уровне развития радиотехники. «Эти расчеты, — вспоминает он, — были опубликованы в 1949 г., после чего я приложил максимум усилий, чтобы линия 21 см была открыта экспериментально в нашей стране. Я не жалел слов, чтобы зажечь экспериментаторов энтузиазмом и направить их усилия в этом направлении».

Как рассказывает И. С. Шкловский, сначала все шло хорошо, талантливый радиоастроном В. В. Виткевич начал конструирование оригинального приемника монохроматического излучения водорода Галактики. И вдруг в начале 1950 г. все работы были остановлены. Лишь через два десятилетия В. В. Виткевич раскрыл Шкловскому причину этого. Бывая в доме Л. Д. Ландау, однажды он рассказал авторитетному физiku о проекте «21 см». Академик отреагировал с присущей ему категоричностью: «Но откуда Шкловский взял плотность водорода в межзвездной среде? Это же чистая патология». Этой «рецензии» было достаточно...

Заметим в порядке отступления, что этот рассказ И. С. Шкловского о пагубности слепого следования научным авторитетам дорого ему обошелся. Будучи редактором стенной газеты ГАИШ, я выбрал для публикации именно этот отрывок из рукописных тогда мемуаров И. С., — единственное условие было не делать купюр внутри любого выбранного фрагмента. Через некоторое время директор ГАИШ Е. П. Аксенов получил возмущенное письмо от акад. И. М. Лифшица, который усмотрел в публикации «Владилены» (так называлась наша стенгазета — по имени одного из астероидов) оскорбление памяти Ландау. По-видимому, инициатива публикации была приписана Шкловскому. И осенью 1983 г., встретив меня при входе в ГАИШ, И. С. сказал — «Вот, Юра, из-за Вашей газетки не видать мне академства, Лифшиц совершенно сбесился». И он оказался прав, поскольку отношения с академиками-астрономами у него и так были неважные. Горько думать, что связанные с этим волнения отравляли последние месяцы жизни великого астрофизика.

В 1951 г. линия 21 см в радиоспектре галактического излучения была обнаружена в США и Австралии, а в 1954 г. Оорт, ван де Хюлст и Мюллер впервые построили распределение нейтрального водорода в Галактике. Для каждого интервала галактических долгот они строили зависимость интенсивности излучения от длины волны, которая несколько отличается от 21 см вследствие эффекта Доплера — наличия у водородных облаков лучевых скоростей. Если считать, что эти скорости являются проекциями на луч зрения векторов кругового вращения облаков вокруг центра Галактики, по этим данным можно, в принципе, определить их расстояние и в конечном счете построить карту распределения водорода во всей Галактике. Как видно из рис. 11.4, наибольшей лучевой скоростью при данной долготе будет обладать водородное облако, находящееся ближе всего к центру; зная расстояние от центра до Солнца, можно найти расстояние такого облака и от нас, и от центра. Необходимо при этом, однако, предполагать, что именно в той точке, где линия данной долготы

проходит ближе всего к центру, имеется облако водорода — что, конечно, необязательно. Уже этого достаточно для того, чтобы объяснить различия получавшейся у разных исследователей картины концентраций водорода в сегментах окружностей (или, если угодно, спиральных рукавов с близким к нулю углом закручивания). Плохо согласовывались и получаемые по этим же данным кривые вращения Галактики, т. е. зависимости скорости вращения составляющих ее объектов от их расстояния от центра.

К сожалению, в столь многообещающих данных радиоастрономии имеется и другая принципиальная неоднозначность. Максимумы на графиках, изображающих зависимость интенсивности излучения водорода от лучевой скорости (при данной долготе), которые объяснялись присутствием в данном направлении изолированных водородных облаков, могут появляться даже и в том случае, если водород распределен равномерно, но скорости его движения отличаются от круговых.

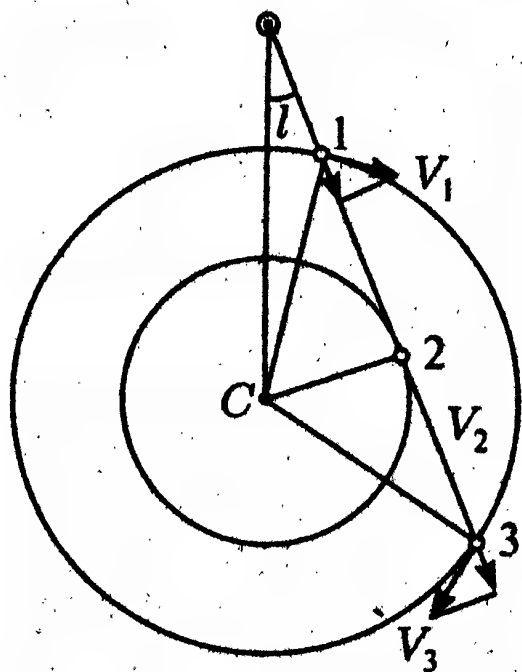


Рис. 11.4. Из трех объектов, лежащих на одной долготе (l) и вращающихся вокруг центра Галактики со скоростями V_1 , V_2 , V_3 , наибольшей лучевой скоростью V_2 будет обладать объект 2, находящийся на наименьшем расстоянии от центра Галактики C . Солнце — $\odot$

На тех долготах, где лучевая скорость мало изменяется с расстоянием, максимумы могут появиться как результат сложения интенсивностей линий с близкими скоростями. В. Бертон в 1971–1974 гг. показал, что отклонений от кривой вращения Галактики в 5–10 км/с достаточно, чтобы воспроизвести наблюдаемую картину интенсивностей и лучевых скоростей линий водорода на разных долготах даже при полностью однородном его распределении в плоскости Галактики. На самом деле, и водород концентрируется в спиральных рукавах, и скорости его облаков могут отличаться от круговых. Некоторое представление о положении спиральных ру-

кавов из наблюдений нейтрального водорода можно получить, как считает Бертон, прослеживая положение возмущений поля скоростей: согласно одной из теорий спиральной структуры, объясняющей эту структуру как волны плотности, должен быть перепад скоростей между ветвями и пространством между ними. Кривая вращения Галактики бесспорно показывает крупномасштабные отклонения от кругового вращения, а отдельные облака водорода к тому же обладают заметными случайными скоростями.

Однако в те же годы радиоастрономические данные показали, что в других галактиках нейтральный водород действительно располагается вдоль спиральных ветвей. С помощью многоантенного радиотелескопа в Вестерборке в 1972 г. голландские радиоастрономы достигли разрешения в 24–32 секунды дуги, и это решило проблему. Вначале было получено изображение М 51 в непрерывном спектре в области длины волны 21 см, показавшее великолепные спиральные ветви, совпадавшие с внутренним

краем оптических ветвей и прожилками пыли. Сжатие межзвездной среды сжимает и межзвездное магнитное поле, так что совпадение максимума интенсивности синхротронного излучения²⁾ с пылевыми полосами указывает на существование волн сжатия вдоль спиральных рукавов. А вскоре были получены изображения спиральных ветвей в галактиках М 51, М 101, М 81 и в линии излучения нейтрального водорода 21 см (рис. 11.5 и 11.6).

Проблема построения чертежа спиральной структуры нашей Галактики остается нерешенной и поныне. Выводы о нем можно получить лишь соединением оптических данных из окрестностей Солнца и данных о молекулярном и атомарном водороде. На наш взгляд, ключевое значение имеет тот факт,

что газовые сверхоблака бесспорно обрисовывают ветвь Киля, простирающуюся на 40 кпк с углом закручивания в $10-12^\circ$. Эти сверхоблака состоят из гигантских молекулярных облаков, окруженных нейтральным атомарным водородом, характерная их масса около 10 млн солнечных. Почти вся ветвь Киля находится дальше солнечного круга от центра Галактики и неоднозначности в определении расстояний по лучевым скоростям не возникает. Более того, с тем же углом закручивания эту ветвь можно экс-

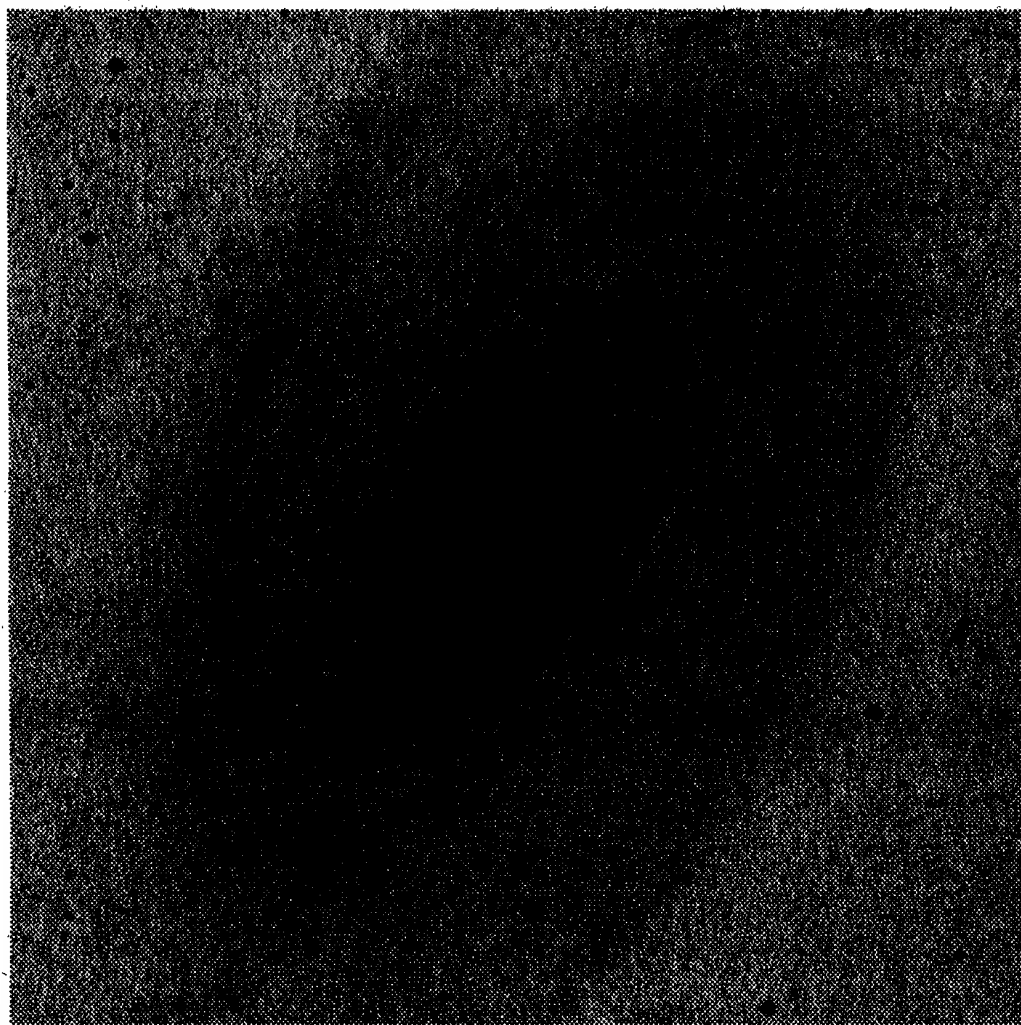


Рис. 11.5. Спиральная галактика М 81. Снимок получен на 48-дюймовой камере Шмидта

траполировать и в первый квадрант галактических долгот, и при этом она проходит как раз через расположенные в нем несколько сверхоблаков. Оказывается при этом, что сверхоблака расположены вдоль рукава Киля—Стрельца регулярным образом, с характерным расстоянием около 1 кпк или кратным этому значению — некоторые места оказываются пустыми. Как нашли Брюс и Дебра Эльмегрины, такая регулярность характерна для галактик, обладающих правильным симметричным спиральным узором; о его наличии в нашей Галактике говорит само существование столь длинного рукава (рис. 11.7 и 11.8).

В таком предположении можно попытаться реконструировать по имеющейся «кости» — рукаву Киля — весь облик спирального узора нашей Галактики. Для начала повернем рукав Киля—Стрельца на 180°

²⁾ То есть излучения, связанного с движением электронов в магнитных полях.

вокруг центра Галактики. Оказывается, что этот гипотетический симметричный рукав («2» на рис. 11.9) проходит через наблюдаемые газовые облака далеко от центра Галактики; там вдоль него имеются оптические трассеры. Наблюдаемый гораздо более четко и в оптике, и в радиодиапазоне рукав Персея при этом должен соответствовать одному из второй пары симметричных спиральных рукавов («2А» на рис. 11.9), который лишь кое-где проходит через сверхоблака. Многие из них остаются не у дел, меж рукавами — но в основном лежащие близ направления на центр Галактики, с неуверенными поэтому (из-за малости лучевых скоростей) расстояниями (рис. 11.9).

Такая конфигурация совместима только с предположением, что наблюдаемый в оптике рукав Лебедя—Ориона с углом закручивания



Рис. 11.6. «Радиография» М 81 в линии излучения нейтрального водорода 21 см, полученная в Вестерборке (в том же масштабе, что и рис. 11.5). Так же, как в нашей Галактике и в М 31, близ центра водород отсутствует; по-видимому, он давно уже был израсходован на образование звезд

примерно в 20° является шпуром, отрогом рукава Киля—Стрельца. С этим согласуется наш вывод о том, что в этом шпуре нет концентрации более старых объектов, которая бесспорно имеется в рукаве Киля—Стрельца. Яркие молодые объекты остаются лучшими трассерами спиральных рукавов, но в волновых спиральных рукавах, являющихся областями повышенного гравитационного потенциала, должны быть и довольно старые скопления, и цефеиды малых периодов, и это действительно наблюдается. Однако А. М. Мельник и Т. Г. Ситник в ГАИШе проводят спиральный рукав от Лебедя к Килю (как это делал когда-то Б. Бок); эти исследовательницы ус-

матривают в направлении Лебедя (а не только Киля) концентрацию немолодых объектов и характерные для волновых рукавов отклонения скоростей движения населяющих их объектов от кругового вращения вокруг центра Галактики. Вопрос о том, каков же при этом “grand design” Галактики, повисает в воздухе. Впрочем, симметричность общего чертежа Галактики относительно поворота на 180° вокруг центра отнюдь

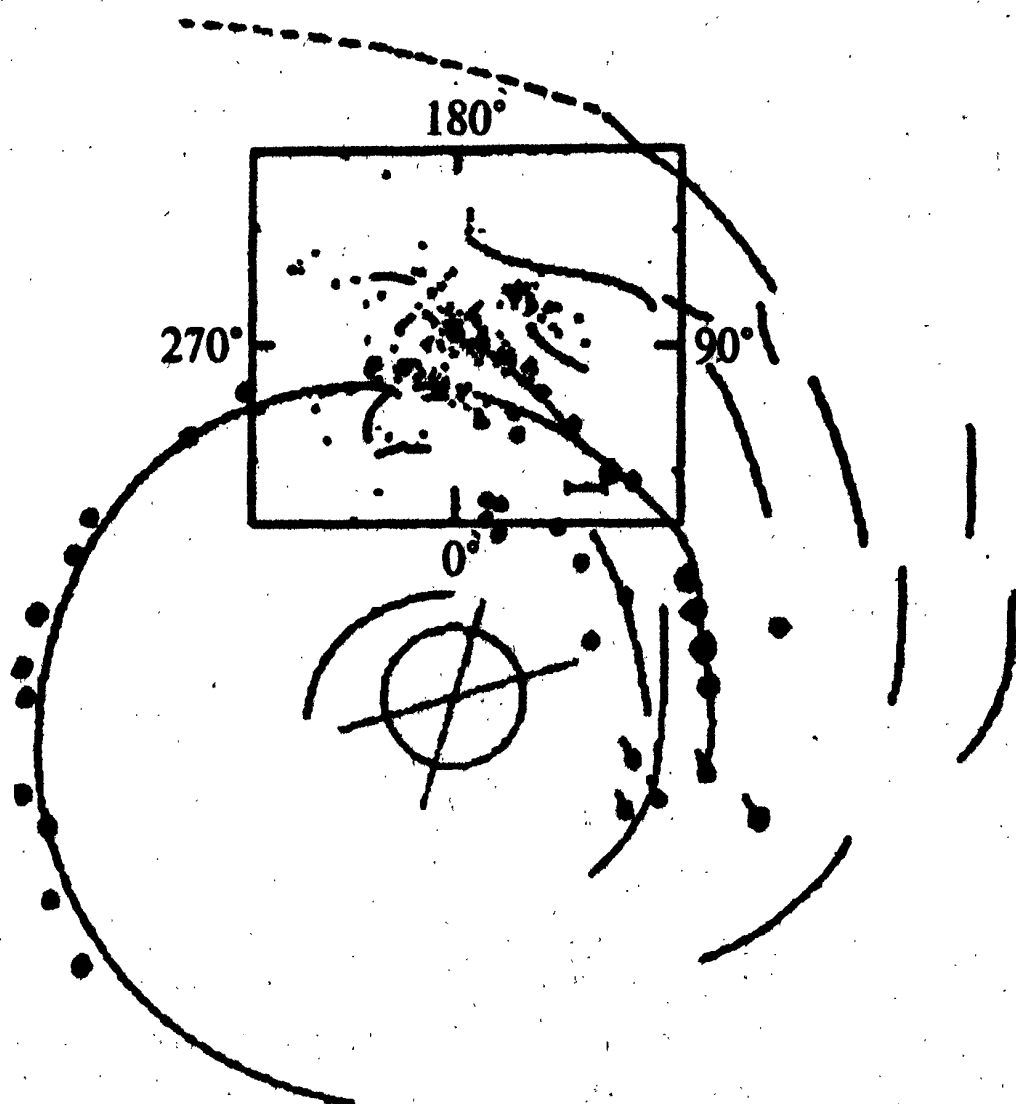
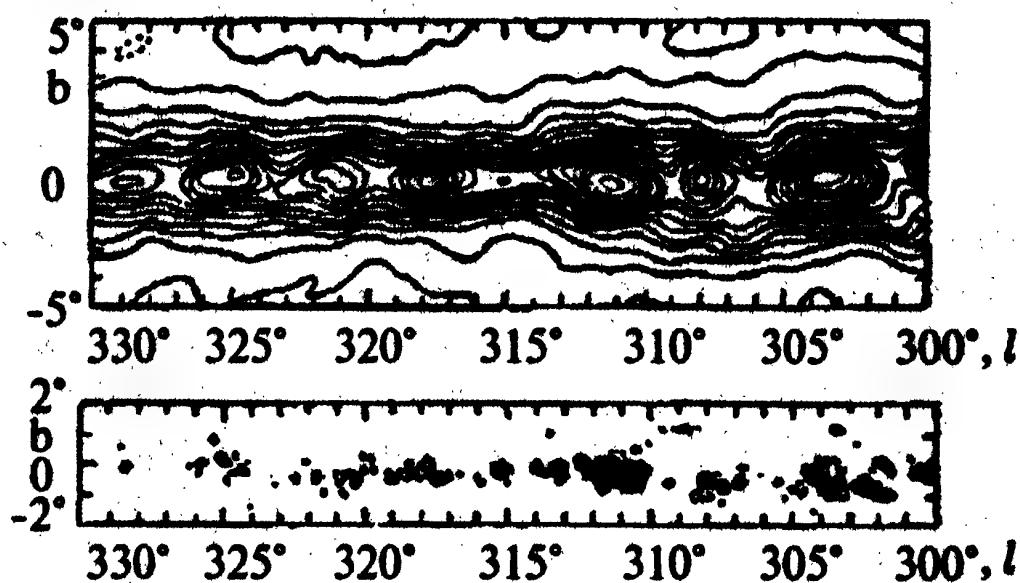


Рис. 11.7. Рукав Киля—Стрельца, обрисовываемый положением сверхгигантских облаков H I. В окрестностях Солнца показано положение молодых скоплений и ассоциаций, из которого видно, что рукав Лебедя—Ориона является отростком рукава Стрельца

необязательна. Имеется множество галактик, в том числе с длинными спиральными рукавами, такой симметрии не имеющих.

Рис. 11.8. Сверхоблака рукава Киля, как они обрисовываются изоденсами H I в картинной плоскости (наверху), и облака молекулярного водорода (внизу) для одного и того же интервала галактических долгот. Видно, что последние находятся в наиболее плотных центральных областях сверхоблаков. Данные Д. Грабельского и др., (1988) и Кохена и др. (1985). К сожалению, более новые данные отсутствуют



Накапливается все больше аргументов в пользу предположения, что наша Галактика имеет небольшой бар, перемычку, проходящую через центр и соединяющую начальные точки двух рукавов. Концы его нахо-

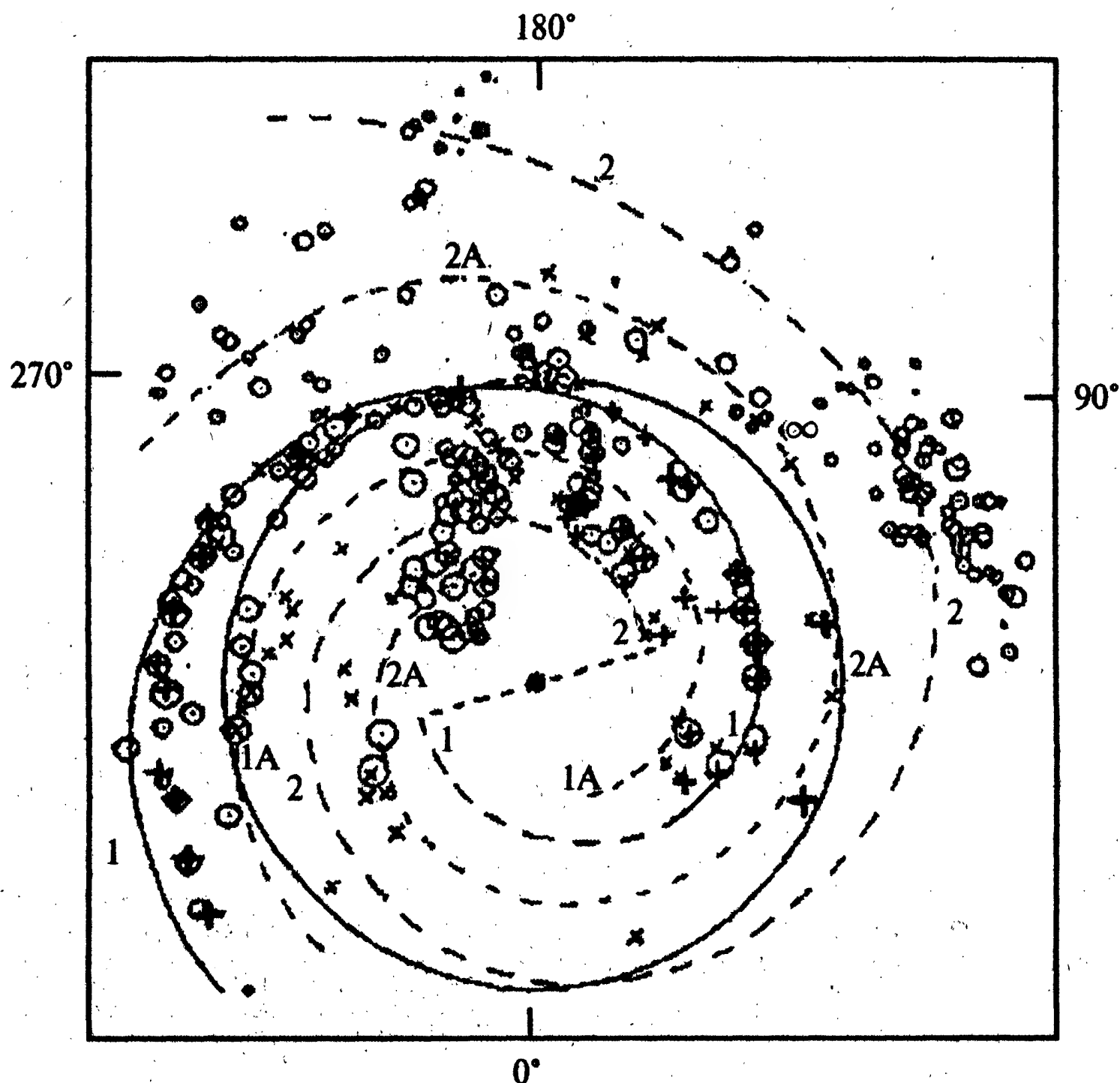


Рис. 11.9. Гипотетический спиральный узор Галактики, основанный на наблюдаемом положении рукава Киля и предположении о симметрии узора относительно поворота на 180° вокруг центра Галактики. Сверхоблака показаны прямыми крестиками, области H II — косыми крестами, молекулярные облака — кружками (Ефремов, 1998). Напомним, что расстояния объектов, находящихся внутри солнечного круга, могут быть грубо ошибочны

дятся на расстояниях в 3–4 кпк от центра Галактики, от них, возможно, и отходят спиральные рукава (рис. 11.9). Возможное наличие другой пары рукавов между ними тогда может быть свидетельством существования и кольца, с диаметром, равным размеру бара — такого рода галактики наблюдаются. О наличии у нашей Галактики бара давно и настойчиво говорил Ж. де Вокулёр. Можно только позавидовать астрономам туманности Андромеды и Магеллановых Облаков, для которых строение нашей Галактики непосредственно начертано на их небесах...

* * *

Перейдем теперь к другой загадке нашей Галактики — ее ядру. Еще недавно мы не знали о нем ровно ничего. Данные оптической астрономии указывали положение центра Галактики с ошибкой около $1^\circ,5$, и ничем

особенным эта область созвездия Стрельца не выделялась. Яркое облако Млечного Пути было севернее, и только в 1947–1949 гг. фотометрия в ближней инфракрасной области показала, что южнее тоже есть яркая область, невидимая на обычных фотографиях из-за сильного поглощения света, а сам центр лежит в области с максимальным поглощением: как и в других спиральных галактиках, пыль концентрируется к экваториальной плоскости. Эти работы выявили ядерную область Галактики, центральную «выпуклость», но не собственно ядро, керн, который виден в близких галактиках как размытая звездочка. В туманности Андромеды керн выглядит как гигантское шаровое скопление — ярче любого другого скопления на 3^m ; диаметр его около 10 пк.

В конце 1950-х гг. в направлении галактического центра был обнаружен источник радиоизлучения, получивший название Стрелец А, и были основания полагать, что он находится в самом ядре. Тогда положение его было определено с точностью до $0^\circ,1$, и Вальтер Бааде начал отчаянные попытки обнаружения ядра в оптическом диапазоне. Он снимал область Стрельца А на пластинках, чувствительных к красным лучам на 48-дюймовой камере Шмидта — экспозиции доходили до 7 часов, затем на 200-дюймовом рефлекторе, однако обнаружил лишь несколько шаровых скоплений, невидимых на синих и желтых пластинках из-за сильного поглощения. «У меня нет сомнений в том, что поглощение перед самым ядром порядка 9^m или 10^m , и я убежден, что с нашими современными средствами мы ничего сделать не сможем», — говорил Бааде в 1958 г.

Действительность оказалась еще хуже — десять лет спустя Беклин и Нейгебауер обнаружили в направлении Стрельца А на длине волны 2,2 мкм точечный источник инфракрасного излучения, и оказалось, что в видимых лучах поглощение света между нами и центром составляет около 27^m !

Западный компонент источника Стрелец А, Sgr A*, и является самой сердцевинной Галактики. Это компактный источник нетеплового радиоизлучения и инфракрасного излучения. Восточный его компонент является молодым остатком сверхновой. В пределах 300 пк от центра обнаружено множество признаков продолжающегося образования массивных звезд: источники инфракрасного излучения, которые могут быть звездами высокой светимости, окруженными пылевыми оболочками, гигантские молекулярные облака, пыль, а также компактные облака ионизованного газа.

В 2000 г. получены убедительные свидетельства того, что в самом центре Галактики находится черная дыра с массой около 3 млн солнечных. Аргументы практически неопровержимы и значение этого вывода невозможно переоценить (см. главу 15).

Р. Браун приходит к выводу, что вещество в количестве тысячной доли массы Солнца в год выбрасывается вдоль оси вращения этого объекта со скоростью около 300 км/с; эта ось наклонена к оси вращения Галактики под углом в 41° и прецессирует с периодом около 2 300 лет. Аккреция вещества на вращающийся диск и выброс его вдоль оси вращения с большими скоростями объясняет весьма широкий круг явлений —

от разбегания мазеров в областях звездообразования и огромных скоростей движения газовых струй в уникальной двойной системе SS 433 до активности ядер галактик и квазаров. Это, по-видимому, наиболее эффективный механизм перекачки гравитационной энергии падающего на диск вещества в энергию излучения и истечения газа.

Ныне практически доказано существование в центрах полусотни галактик черных дыр с массами до ста миллионов солнечных. Всевозможные признаки «активности» ядер галактик, о чем еще будет идти речь, бесспорно, объясняются присутствием в них черных дыр. Интенсивное звездообразование, подобное наблюдающемуся близ центра нашей Галактики, также часто имеет место, но это независимое явление. Надо сказать, что и в нашей Галактике, и в туманности Андромеды центральные черные дыры ведут себя относительно спокойно.

* * *

Расстояние до центра Галактики известно все еще с точностью до одного килопарсека. Один из наилучших способов — исследование переменных звезд типа RR Лиры в «окнах прозрачности» — участках с малым поглощением близ центра Галактики. Три таких окна были выделены Бааде, но трудоемкая работа по обнаружению и исследованию переменных звезд в них и обработка этих данных закончились только в 1975 г.; вели эту работу голландские астрономы по пластинкам, полученным на 48-дюймовой камере Шмидта на Маунт Паломар. Абсолютную величину звезд типа RR Лиры можно считать в среднем одинаковой, и они сильно концентрируются к центру Галактики. Поэтому у этих звезд, найденных в областях близ центра, имеется резкий максимум в распределении по видимой величине, отвечающий расстоянию, на котором луч зрения проходит ближе всего от центра, и это расстояние практически равно расстоянию от центра до нас. Используя абсолютную величину звезд типа RR Лиры в синих лучах $M_{pg} = +0^m,70$, Я. Оорт и Л. Плаут нашли в 1975 г. расстояние до центра $R_0 = 8,7 \pm 0,6$ кпк. Принимая постоянную Оорта $A = 16,9$ (км/с)/кпк (она определяется лучше всего по пространственному распределению и лучевым скоростям цефеид и рассеянных скоплений) и известное по радиоастрономическим данным произведение $AR_0 = 120 \div 150$ км/с, они получили $R_0 = 7,1 \div 8,9$ кпк.

В недавних работах А. С. Расторгуева и А. К. Дамбиса показано, что значение расстояния до центра, согласующееся как с последними определениями светимости звезд типа RR Лиры, так и со светимостями и движениями цефеид, составляет 7,2–7,8 кпк. Использовалась зависимость «период—светимость» Л. Н. Бердникова и др., основанная на цефеидах в скоплениях, расстояния которых определялись с помощью начальной главной последовательности П. Н. Холопова. Она дает для модуля расстояния Большого Магелланова Облака значение $18^m,3$, что на 0,2 меньше принимаемого в большинстве работ, — в частности, в программе определений расстояний галактик по цефеидам и последующем определении по-

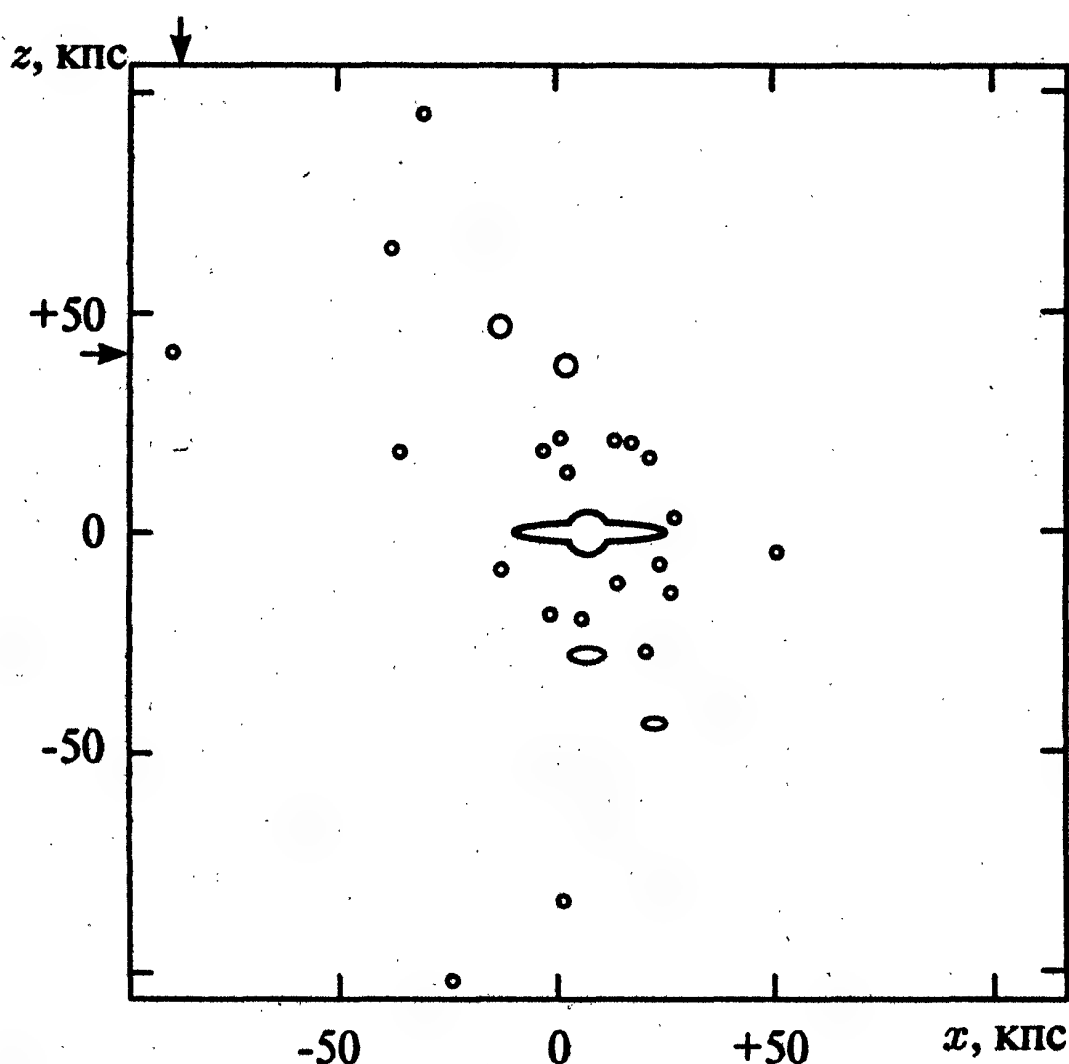


Рис. 11.10. Ближайшие спутники нашей Галактики — шаровые скопления, лежащие дальше 20 кпк от центра (маленькие кружки), карликовые эллиптические галактики (большие кружки) и Магеллановы Облака (овалы)

стоянной Хаббла, которая являлась одной из главных задач Космического телескопа имени Хаббла. Проблема не решена, и мы еще вернемся к ней.

Еще труднее сказать, как далеко простирается наша звездная система в направлении, противоположном центру. Впрочем, здесь, конечно, и не существует четко обозначенной границы. Плотность звезд и газа убывает от центра галактик постепенно, но газ обычно простирается гораздо дальше звезд. Объекты, входящие в спиральные рукава или диск, встречаются в направлении антицентра вплоть до расстояния ~ 10 кпк от Солнца, но объекты гало уходят гораздо дальше. Еще в 1963 г. группа ликских астрономов во главе с Т. Кинманом при поисках слабых звезд типа RR Лиры обнаружила, что даже в интервале $18^m - 20^m$ эти звезды еще встречаются, с плотностью одна звезда на 2–3 кв. градуса. Такие звезды находятся на расстояниях, сравнимых с расстоянием Магеллановых Облаков, спутников нашей Галактики. Для шарового скопления NGC 2419 недавно было определено расстояние в 90 кпк от Солнца и 100 кпк от центра Галактики, вокруг которого оно вращается по вытянутой орбите (указано стрелками на рис. 11.10).

Конечно, размеры Галактики — понятие неопределенное. У многих галактик в последние годы обнаружены громадные слабо светящиеся короны. Можно предположить, что она есть и у нашей Галактики. Облака водорода наблюдаются вплоть до расстояний Магеллановых Облаков, которые соединены с нашей Галактикой газовой, а возможно, и звездной перемычкой.

В 1974 г. эстонский астроном Я. Эйнасто со своими сотрудниками и группа американских и английских теоретиков (Д. Линден-Белл, Дж. Острайкер и др.) независимо пришли к выводу о необходимости значительного увеличения принимаемой массы и протяженности короны Галактики — для обеспечения устойчивости ее диска и для объяснения высоких скоростей движения окружающих нас галактик Местной группы, что, согласно Я. Эйнасто, трудно понять, если масса системы Млечного Пути меньше, чем $(900-2\ 100) \cdot 10^9$ масс Солнца — на порядок больше, чем считалось раньше. О том же говорит кривая вращения Галактики, которая сейчас прослежена до расстояний около 18 кпк от центра. Если бы большая часть массы Галактики была сосредоточена в ее центральных областях, линейная скорость вращения вокруг ее центра, достигнув максимума, должна была бы затем уменьшаться, подобно скоростям обращения планет вокруг Солнца; однако же, начиная с расстояния около 6–7 кпк, скорость сохраняется постоянной, около 220–250 км/с. Это указывает на доминирующий вклад короны Галактики в ее массу. Аналогичная проблема «плоской» кривой вращения, говорящей о наличии большой ненаблюдаемой массы во внешних областях, существует для многих других галактик; эта скрытая масса, «темное вещество», обнаруживается и по высоким скоростям движения галактик в скоплениях.

По оценке Дж. Бакала, М. Шмидта и Р. Сонеира, масса Галактики в пределах до 60 кпк от центра составляет $600 \cdot 10^9$ масс Солнца, и 99 % ее приходится на корону. Недавние оценки, основанные на скоростях карликовых галактик, спутников нашей Галактики, дают ее массу в 10^{12} солнечных. Поскольку ни в оптическом, ни в радиодиапазоне не удается обнаружить носителей этой воистину скрытой массы, о ее природе продолжаются споры. Это могут быть потухшие огарки звезд (остывшие белые карлики, черные дыры), очень маломассивные объекты, которым так и не суждено стать звездами («Юпитеры»), но большинство специалистов полагает, что эта масса заключена в каких-то слабо взаимодействующих массивных элементарных частицах, которые еще предстоит открыть. Небольшая доля этой массы может быть заключена и в нейтрино. Мы вернемся к этой грандиозной проблеме скрытой массы в главах 14 и 17.

Холодный, не поддающийся наблюдениям молекулярный газ, по мнению Ф. Комб, также может составлять заметную долю массы корон галактик. В нашей Галактике молекулярные облака, рожденные в них массивные звезды и, значит, области H II концентрируются, помимо самого центра, в кольцевой зоне на расстоянии в 4–7 кпк от него; ближе 4 кпк к центру мало и атомарного водорода, но плотность его падает к окраинам Галактики гораздо медленнее, чем молекулярного. Нарастание яркости спиральных галактик к центру в большинстве случаев объясняется увеличивающейся долей звезд населения II, на образование которых был когда-то израсходован газ в центральных областях; в газовых дисках этих галактик (типов Sa и Sb) плотность падает и к центру, и к краям.

МАГЕЛЛАНОВЫ ОБЛАКА

...Я взглянул вверх и в открытом иллюминаторе увидел Южный Крест, а дальше — бледное пятно: там сияли холодным ровным светом Магеллановы Облака.

Станислав Лем

*Не устану воспевать вас, звезды!
Вечно вы таинственны и юны.
С детских дней я робко постигаю
Темных бездн сияющие руны.*

Иван Бунин

Выйдем теперь за пределы Галактики. Наши ближайшие соседи — Магеллановы Облака, две небольшие неправильные галактики. Они выглядят как изолированные облака Млечного Пути (как, например, облако в Щите) и вообще похожи на тусклые светлые облачка на ночном небе.

Большое Облако, Малое Облако и Южный полюс лежат в вершинах равностороннего треугольника. Большое Облако было замечено еще арабскими астрономами, но Магеллановыми они называются потому, что в Европе стали известны по описанию Пигафетта — спутника великого мореплавателя в первом кругосветном путешествии. Большое Облако имеет около 8° в поперечнике, Малое — 4° . Джон Гершель во время своего путешествия в 1838 г. на Мыс Доброй Надежды насчитал в Облаках несколько сотен отдельных звезд и десятки скоплений и туманностей. В 70-х годах XIX века Аббе, директор Метеорологической службы США, анализируя данные Дж. Гершеля, пришел к выводу, что Магеллановы Облака, несомненно, являются ближайшей внегалактической системой, а не просто изолированными кусками Млечного Пути. Если бы они были спиральными галактиками, вопрос о природе спиральных туманностей был бы решен на 80 лет раньше.

Так или иначе, эти экзотические объекты, которые в то время очень мало кто из астрономов видел и знал, практически не участвовали в решении «великого спора». Между тем, прокалибровав в 1913 г. зависимость

«период—светимость» в абсолютных величинах, Герцшпрунг тогда же с помощью обнаруженных Г. Ливитт цефеид нашел расстояние Облаков; оно оказалось равным 33 000 световых лет. Это было наибольшим расстоянием, известным в то время. Заметим, кстати, что вторым по величине достоверным расстоянием было тогда расстояние Гиад (130 световых лет) — ближайшего рассеянного скопления...

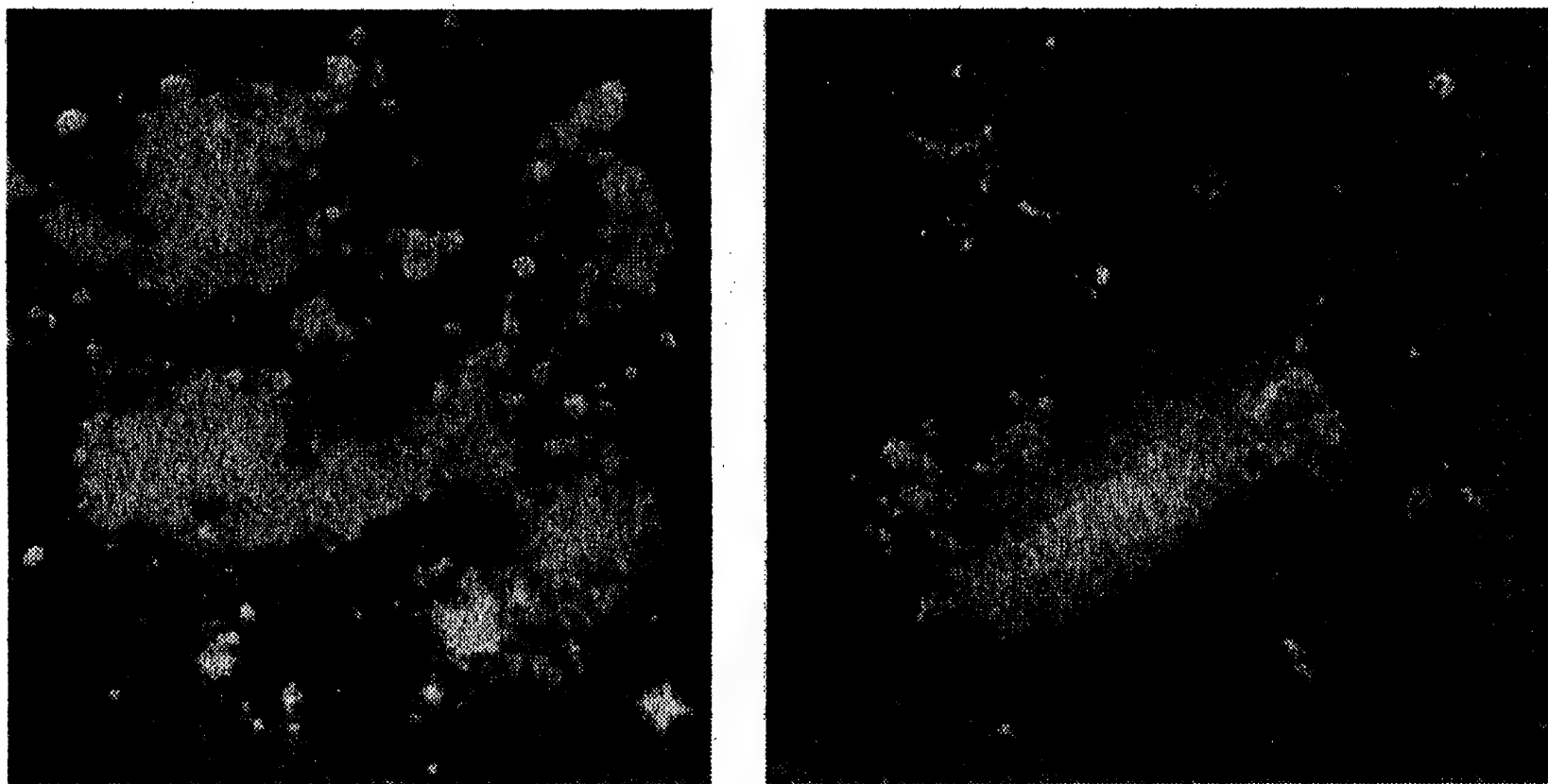


Рис. 12.1. Большое Магелланово Облако. Справа — снимок в синих лучах, слева — в далекой ультрафиолетовой области (получен с Луны экипажем «Аполлона-16»). На левом снимке можно выделить 8-10 гигантских концентраций молодых горячих звезд — звездных комплексов; на правом они малозаметны, но выделяется перемычка (бар), состоящая из более старых звезд, а над ее левым концом — область туманности Тарантул. Видны также и дуги Квадранта и Секстанта (слева вверху)

Особую ценность исследования Магеллановых Облаков имеют прежде всего потому, что их размерами можно пренебречь в сравнении с их расстоянием и считать (с ошибкой, не превосходящей $0^m,1$), что разность видимых величин расположенных в Облаках объектов равна разности абсолютных величин. Мы видели уже, что именно это обстоятельство привело к открытию зависимости «период—светимость» для цефеид. В то же время Магеллановы Облака достаточно близки для детального изучения отдельных объектов в них, многие из которых представляют выдающийся интерес и практически не известны в нашей Галактике. Проклятье астрономов — межзвездное поглощение света — мало мешает при исследовании Облаков; они находятся высоко над экваториальной плоскостью Млечного Пути, и луч зрения быстро выходит из слоя галактической пыли; в то же время, поглощение света внутри Облаков невелико и в среднем не превосходит $0^m,3$. Все это позволило Харлоу Шепли назвать Облака мастерской астрономических методов.

Несмотря на свою видимую хаотичность, оба Облака являются довольно плоскими образованиями. Это вращающиеся диски, о чем гово-

рят лучевые скорости входящих в Облака звезд и туманностей, а также сравнение с неправильными галактиками, видимыми с ребра. Большое Магелланово Облако (БМО) мы видим почти с его полюса (угол его плоскости с картинной составляет около 30°), а Малое Магелланово Облако (ММО), судя по лучевым скоростям областей H I и планетарных туманностей, состоит из двух проецирующихся друг на друга галактик, отделенных расстоянием в несколько килопарсеков. Жерар Вокулёр считает, что в обоих Облаках, и особенно в Большом, можно различить зачатки спиральной структуры; перемычка (бар), наблюдающаяся в пересеченных спиралях, в БМО выражена довольно ясно.

Массивное вытянутое тело перемычки (бара), образованное мириадами слабых звезд, группировки ярких голубых звезд, окутанные газовыми туманностями, и множество звездных скоплений — вот что сразу же бросается в глаза на фотографиях БМО (рис. 12.1). Количество звездных скоплений в нем фантастически велико; сейчас их известно около 1 600, в полтора раза больше, чем мы знаем пока в окрестностях Солнца. Среди них есть шаровые скопления, уступающие лишь богатейшим скоплениям Галактики — таким как ω Кентавра и 47 Тукана, — и едва различимые туманные пятнышки бедных скоплений. Впрочем, не такие уж они бедные. На расстоянии БМО, замечает Б. Бок, Плеяды имели бы суммарную интегральную звездную величину $V = 15^m$ и диаметр $15''$. Это значит, что на снимках с камерой Шмидта или Максудова они имели бы диаметр в 0,1–0,2 мм и лишь с большим трудом были бы распознаны как скопление. Большие рефлекторы с их малым полем не применялись для исчерпывающих поисков скоплений в Облаках, но изучение с их помощью небольших участков БМО показывает, что полное число скоплений в нем составляет 5 000–6 000. Ярчайшие звезды скоплений имеют самый разный блеск, и это означает, что и возраст скоплений самый разный.

* * *

И что всего удивительнее — среди шаровых скоплений БМО многие очень молоды. Мы привыкли понимать под шаровыми скоплениями сильно концентрирующиеся к центру старые круглые скопления из сотен тысяч звезд. Все они — в нашей Галактике — имеют очень характерную диаграмму «цвет—светимость», и ярчайшими их звездами являются красные гиганты — потомки звезд главной последовательности (ГП) с массой около 0,8–1,0 солнечной. Вид диаграммы — отсутствие верхней части ГП — говорит об очень большом возрасте этих скоплений. Однако в Большом Магеллановом Облаке, напротив, много скоплений, которые не отличишь по внешнему виду от шаровых и которые тем не менее молоды. Эти скопления лучше разрешаются на звезды в синих лучах, и это может означать только то, что среди ярчайших звезд таких скоплений много голубых. По светимости «голубые» шаровые скопления не уступают обычным «красным».

Лучший пример таких скоплений — NGC 1866 в северной части БМО. Даже после того, как А. Теккерей убедился в том, что голубые

звезды NGC 1866 не уступают в блеске красным, он все еще настаивал, как отмечал Бааде, что скопление выглядит как шаровое. «Конечно, — говорит по этому поводу Бааде, — „шаровое скопление“ — хороший гершелевский термин, но он ничего не говорит о диаграмме „цвет—величина“» (рис. 12.2 и 12.3).

О молодости NGC 1866 свидетельствует и то, что в состав его входит около 20 цефеид, по всем своим характеристикам принадлежащим к населению I. Интригующей особенностью этих цефеид было то, что периоды всех их «зажаты» в пределах от $2^d,5$ до $3^d,5$. Открывшие первые семь из этих цефеид Шепли и Мак-Кибен-Нейл (которые ожидали найти в «шаровом» скоплении NGC 1866 звезды типа RR Лиры!) установили это еще в 1951 г. Но понять эту особенность удалось лишь в начале 1960-х гг., когда получила признание гипотеза о происхождении цефеид из массивных звезд главной последовательности. Период цефеиды пропорционален массе, и в каждый момент в стадии цефеиды находятся звезды в узком диапазоне масс и, следовательно, периодов.

Диаграмма скопления, впервые полученная в 1967 г. Х. Арпом и А. Теккереем (рис. 12.2), подтвердила его молодость и показала, что цефеиды занимают левый конец ветви сверхгигантов, насчитывающей около 40 звезд — много больше, чем в любом другом скоплении, известном сейчас. Этот левый конец зашел в пределы полосы неустойчивости — и все звезды, попавшие в нее, обязаны пульсировать. Здесь имеется полная аналогия с горизонтальной ветвью шаровых скоплений: середину ее пересекает полоса неустойчивости, и все звезды на этом участке ветви являются переменными типа RR Лиры.

Долгое время считалось, что такого рода скопления составляют особую специфику Магеллановых Облаков. Интегральная фотометрия более ярких скоплений M 31, полученная С. ван ден Бергом в 1981 г. позволила выявить лишь семь скоплений, показатели цвета и светимости которых такие же, как у голубых «шаровых» скоплений БМО. Правда, нельзя пока сказать, являются ли они столь же компактными, как шаровые скопле-

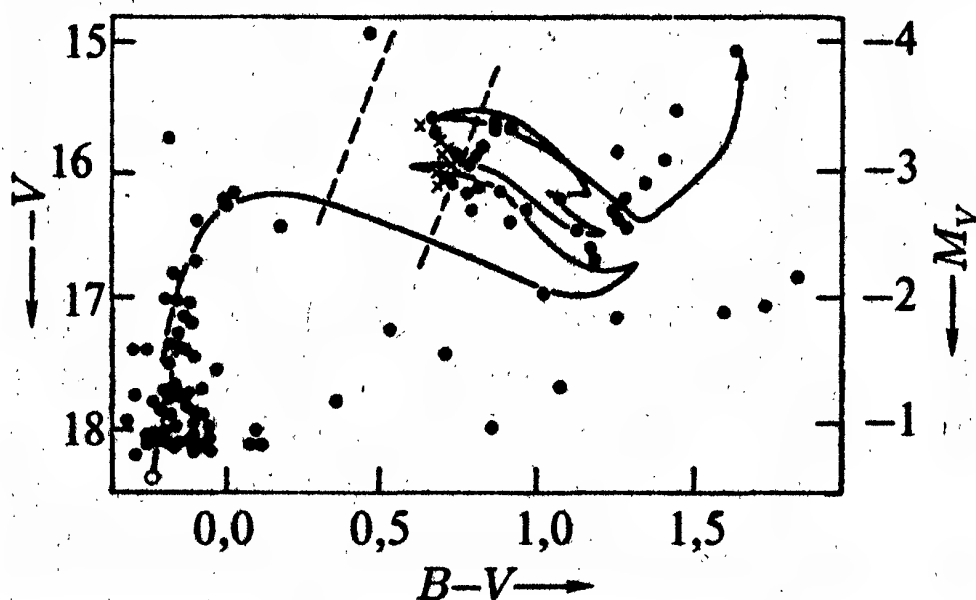


Рис. 12.2. Диаграмма «цвет—величина» молодого шарового скопления NGC 1866.

Пунктиром указаны границы полосы неустойчивости, крестиками — цефеиды

ния. Рядом с одним из них, третьим по яркости среди всех скоплений туманности Андромеды и еще более голубым, чем NGC 1866, находится цефеида H 40 с периодом в 34 дня, наверняка физически связанная со скоплением.

Почти нет таких скоплений и в нашей Галактике. Новые исследования подтвердили старое заключение шотландских астрономов В. Реддиша, Л. Лоуренса и Н. Пратта о том, что аналогом голубых шаровых скоплений Магеллановых Облаков в нашей Галактике является О-ассоциация Лебедь II (Лебедь ОВ 2). Они нашли, что помимо нескольких десятков ОВ-звезд, которые только и были раньше известны (что и заставляло считать эту звездную группировку ассоциацией), здесь присутствуют не менее 3 000 звезд ярче 20^m (в красных лучах). Они не были обнаружены раньше прежде всего из-за очень большого поглощения света. Размеры скопления — 29×17 пк, примерно такие же, как и у богатых скоплений БМО, а полная масса его может достигать 10^3 масс Солнца.

Вторым молодым скоплением Галактики, компактность и большая масса которого позволяет классифицировать его как шаровое скопление, является NGC 3603, расположенное на расстоянии около 7 кпк в спиральном рукаве Киля. Его ядро даже более плотное, чем в центральном скоплении туманности 30 Золотой Рыбы в БМО. Несколько массивных молодых скоплений открыты недавно в пылевых облаках близ центра Галактики, но они недостаточно компактны, чтобы называться шаровыми; приливные силы центра обрекают их на скорое распыление.

Заметим, что такое скопление нашей Галактики, как h и χ Персея, гораздо беднее молодых шаровых скоплений БМО, хотя и сравнимо с ними по светимости. Высокая светимость h и χ Персея объясняется тем, что сейчас в этом очень молодом скоплении сравнительно много очень ярких голубых и красных звезд. Когда они «прогорят», когда возраст h и χ Персея приблизится к возрасту NGC 1866, скопление нашей Галактики останется далеко позади по светимости.

Однако в последние годы, в основном благодаря наблюдениям на космическом телескопе им. Хаббла, во взаимодействующих галактиках в изобилии открыты еще более массивные и молодые скопления, чем голубые шаровые скопления БМО, — иногда в количестве нескольких сотен. Найдены они и в центральных областях ряда спиральных галактик. Иногда они встречаются также в карликовых галактиках с активным звездообразованием. Присутствие гигантского компактного молодого скоп-

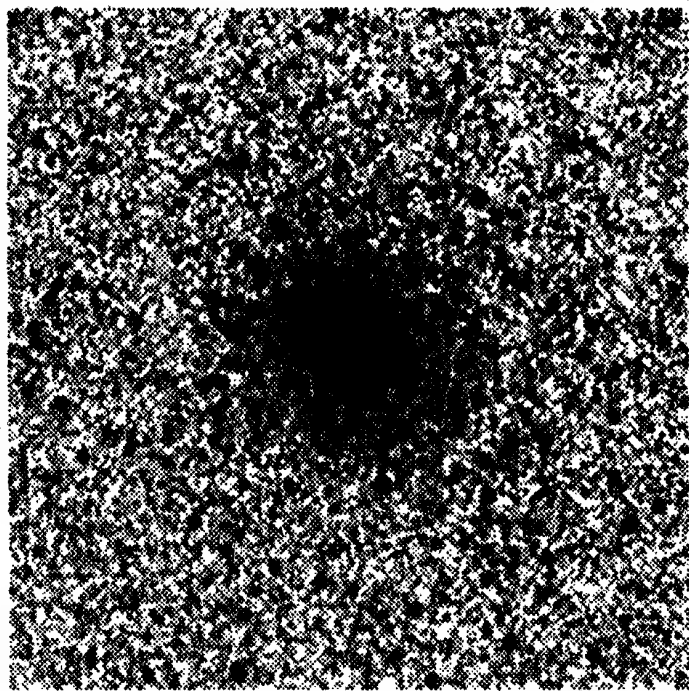


Рис. 12.3. Молодое шаровое скопление NGC 1866 в северной части БМО. Негативное изображение

ления на окраине нормальной спиральной галактик NGC 6946, о чем рассказывалось в главе 10, согласуется с тем, что звездный комплекс, в котором это скопление находится, является скорее карликовой галактикой переднего фона.

Высокая встречаемость молодых шаровых скоплений во взаимодействующих галактиках согласуется с гипотезой их происхождения при сближении газовых облаков, повышении давления в газе, которое ведет к интенсивному и эффективному звездообразованию. Возникновение их в БМО могло быть стимулировано сближением этой галактики с Малым Магеллановым Облаком. Однако наличие массивных компактных скоплений в карликовых галактиках, тем более изолированных, не очень понятно.

Многие астрономы считают, что молодые массивные скопления возникают просто там, где вообще высок темп звездообразования. Имеется много фактов, согласующихся с этой гипотезой. Однако БМО является нам важные исключения из этого правила, о которых рассказывалось в главе 9.

Большое количество (одних только неотличимых на вид от классических шаровых — около полусотни) молодых богатых скоплений в БМО в целом согласуется с высоким общим темпом звездообразования. По всей видимости, он не всегда был таким, ибо сейчас в БМО газа по отношению к полной массе в несколько раз больше, чем в Галактике. Во всяком случае, в БМО явно не было первоначальной вспышки звездообразования, во время которой в нашей Галактике родились звезды населения II и классические старые шаровые скопления. Таких скоплений в БМО всего дюжина, их классификация и возраст подтверждается наличием в них звезд типа RR Лиры. Однако в отличие от Галактики, эти скопления располагаются в диске БМО; короны из старых звезд в БМО, по-видимому, нет.

* * *

Магеллановы Облака с их фантастической коллекцией звездных скоплений и ассоциаций показывают, что звездообразование может происходить как в сильно концентрирующихся к центру плотных скоплениях самого разного размера и богатства, от десятков звезд до сотен тысяч, так и в обширных областях диаметром от десятков до сотен парсеков без следов конденсации к центру.

В самом деле, группы ярких голубых звезд, почти всегда окруженные эмиссионными туманностями, разбросаны по всему Большому Облаку. Люкке и Ходж насчитали их 122, и диаметр их заключен в пределах 15–150 пк (в среднем 78 пк). Обычно они не показывают заметной концентрации к своему центру и вполне попадают под определение звездных ассоциаций. Наибольшие группировки ярких звезд были выделены Х. Шепли еще в 1953 г. под названиями «созвездий»; средний их диаметр 225 пк. Наиболее известным примером такой группировки является «созвездие» вокруг яркой туманности Тарантул, названной так из-за своей

замысловатой паукообразной формы; в центре ее находится скопление очень горячих звезд (рис. 12.4 и 12.5).

Изучение распределения в БМО звездных скоплений и цефеид позволило в последние годы получить важные выводы об истории звездообразования в этой галактике. Становится все более очевидным, что процесс звездообразования почти одновременно охватывал огромные области. Этот вывод, сделанный еще Бааде, подтвердил в 1964 г. Б. Вестерлунд. В 1973 г. П. Ходж нашел, что возраст большинства скоплений примерно одинаков в областях с поперечником около 1 кпк, а позднее автор этой книги заметил, что цефеиды с близкими периодами (и, следовательно, возрастами) занимают области в 300–900 пк, причем если в них находятся и скопления, то возраст их близок к среднему возрасту цефеид. Судя по дисперсии периодов, звезды рождались в таких звездных комплексах в течение нескольких десятков миллионов лет. Весьма характерно и отсутствие цефеид в некоторых областях: естественно сделать вывод, что средний возраст звезд в таких областях меньше 10^7 лет или же больше $\sim 2 \cdot 10^8$ лет — пределов, в которых заключен возраст цефеид. Так, цефеид нет в области с размерами около 600 пк вокруг Тарантула — изобилие горячих звезд высокой светимости и диффузного вещества говорит о крайней молодости этого комплекса — и вокруг старого скопления NGC 1783.

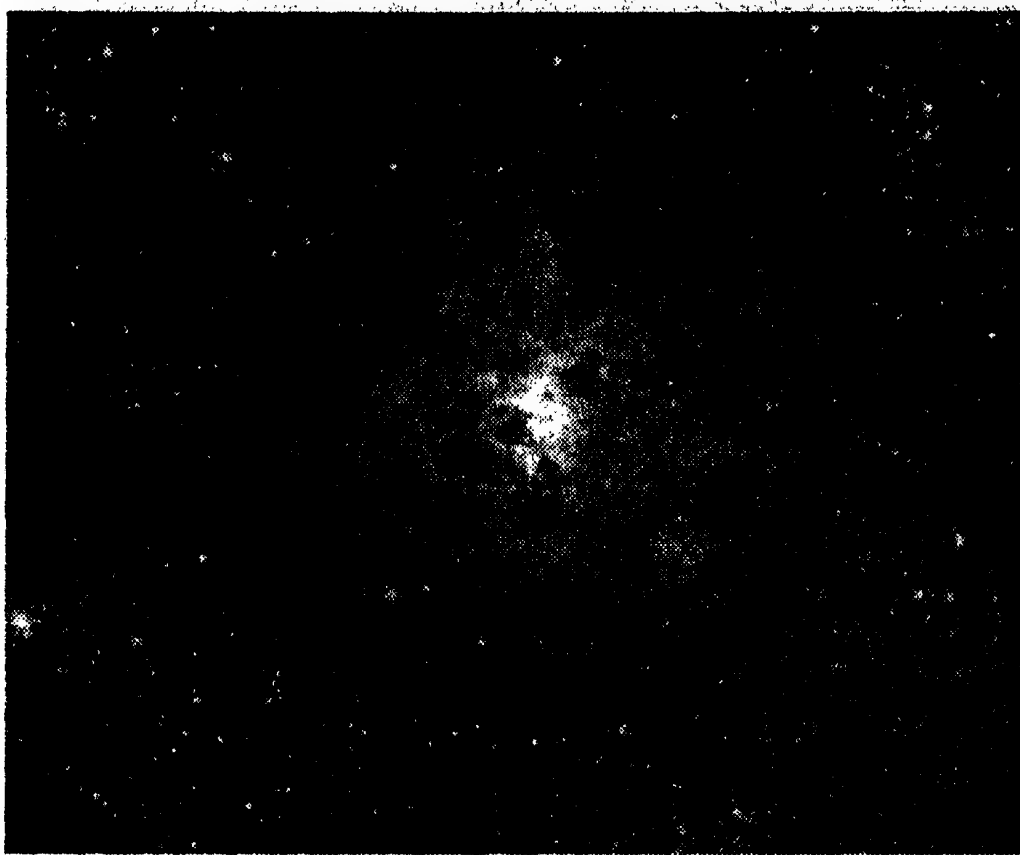


Рис. 12.4. Эмиссионная туманность Тарантул (30 Золотой Рыбы) и окружающая ее область звездообразования. Скрывающееся в центре Тарантула очень молодое шаровое скопление показано на рис. 12.5. Справа вверху и ниже Тарантула — обширные звездные ассоциации, слева у края рисунка — молодое шаровое скопление NGC 2100

В Малом Магеллановом Облаке скоплений и звездных ассоциаций гораздо меньше, чем в Большом, но зато оно не уступает ему по количеству цефеид. Исследование переменных звезд Магеллановых Облаков — едва ли не самое длительное предприятие современной астрономии.

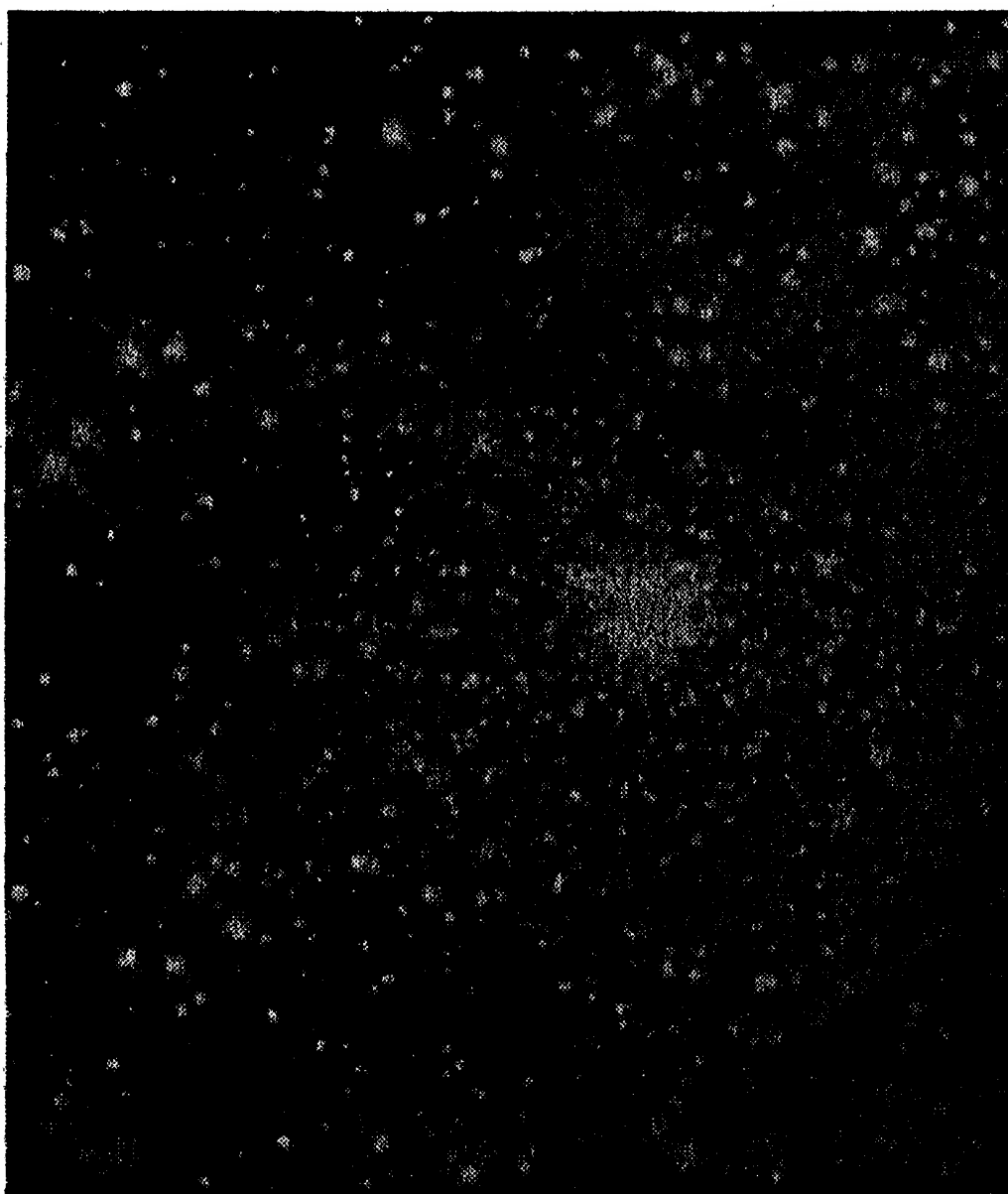


Рис. 12.5. NGC 2070 — богатое молодое скопление, ионизирующее туманность Тарантул. Кратная звезда R 136 сидит в его центре

На станции Гарвардской обсерватории в Перу еще в 1895 г. началось систематическое фотографирование Магеллановых Облаков. Шепли установил, что от 0,5 до 4 % звезд БМО от 13^m до 16^m являются цефеидами, и чем выше звездная плотность, тем больше доля цефеид. В 1966 г. опубликованы результаты исследования 1493 звезд Малого Облака, начатого в 1953 г. Сесилией Пейн-Гапошкин, Сергеем Гапошкиным и их сотрудниками. Аналогичное исследование Большого Облака закончено в 1971 г. Было изучено около 4 000 пластинок, проведено свыше двух миллионов глазомерных оценок блеска переменных звезд.

Недавно количество цефеид в каждом из Облаков увеличилось вдвое. Это было побочным результатом нескольких программ поиска явления микролинзирования — кратковременного возрастания блеска звезды при прохождении компактного объекта через луч зрения от нее. Три группы систематически следили за блеском миллионов звезд в баре БМО, и польская группа (программа OGLE) опубликовала детальные данные о всех найденных цефеидах. Впервые в истории астрономии можно говорить о полноте открытий переменных звезд в каком-то участке неба. Результаты программы OGLE открывают уникальную возможность исследования истории звездообразования в баре БМО.

Давно известно, что средний период цефеид в БМО меньше, чем в Галактике, а в ММО еще меньше. Возможно, что эти отличия связа-

ны с уменьшением в этой же последовательности содержания тяжелых элементов в этих галактиках, из-за которого звезды меньших масс (и периодов) проводят больше времени в полосе неустойчивости на диаграмме Г–Р. Зависимость «период—возраст» позволяет интерпретировать такого рода различие и как следствие различия средних возрастов, но на масштабе целой галактики это представляется менее вероятным.

Труднее понять, почему в ММО число цефеид на единицу площади в три-четыре раза больше, чем в БМО, и примерно на порядок больше, чем в Галактике и в М 31, где их 7–10 на 1 кв. клк. Скорее всего, это связано с большой глубиной ММО по лучу зрения и отчасти с большими амплитудами цефеид малых периодов, которых легче поэтому обнаружить на плотном фоне. Было бы важно сравнить пространственную плотность цефеид и их предков — звезд класса В в различных районах этих галактик. Различие темпа звездообразования в разные эпохи и в разных областях галактик может явиться первопричиной нынешних отличий в их звездном населении, химическом составе и т. д. В свою очередь, скорость звездообразования зависит от условий, в которых находится диффузное вещество — плотности и температуры газа, его динамики, наличия пыли магнитного поля, параметров турбулентности и т. д.¹⁾

* * *

Всего лишь около 1 % цефеид БМО относится к населению II (такие цефеиды легко выявить по светимости — при периодах в 20–30^d, — на 2^m,4 меньшей, чем у классических цефеид того же периода), и это, возможно (если времена их жизни сравнимы), является наиболее точной оценкой доли всего населения II в БМО. По-видимому, она на порядок-полтора меньше, чем в Галактике, и это, равно как и большее содержание газа и обилие молодых объектов, лишний раз подтверждает, что в неправильных галактиках не было первоначального «приступа» звездообразования, во время которого образовались звезды населения II в спиральных галактиках и был израсходован практически весь газ в эллиптических галактиках.

По всей видимости, в галактиках всех типов возраст старейших звезд одинаков. Это важнейшее для космогонии и космологии заключение, сделанное В. Бааде много лет назад, на наш взгляд, остается справедливым. Бааде исходил из закономерной экстраполяции свойств Местной группы галактик на всю Вселенную — везде, где хватает проникающей силы телескопов, он мог обнаружить старые звезды населения II (однозначно об этом говорит присутствие звезд типа RR Лиры и с меньшей уверенностью — красных гигантов). Возможным исключением могут быть некоторые карликовые компактные голубые галактики. Межгалактические газовые облака известны, и такие галактики могут быть результатом

¹⁾ См.: Сурдин В. Г. Рождение звезд. М.: УРСС, 2001.

звездообразования в них, стимулированного сближением с другими галактиками. Проверка утверждения о почти одновременном образовании почти всех галактик на заре эволюции Вселенной исключительно важна.

В отличие от скоплений диска нашей Галактики, скопления БМО показывают хорошую корреляцию между возрастом и содержанием тяжелых элементов. Судя по всему, там не было перерыва в несколько миллиардов лет между образованием звезд сферической составляющей и диска, в начале или в течение которого и произошло в основном обогащение межзвездной среды элементами тяжелее гелия в Галактике. Присутствие обычных старых шаровых скоплений и звезд типа RR Лиры показывает, что звездообразование в БМО началось примерно тогда же, когда и в Галактике, но шло, очевидно, более медленными темпами, и доля еще сохраняющегося газа там поэтому на порядок больше. О более равномерном темпе звездообразования в БМО говорит и большое количество в нем богатых скоплений промежуточного возраста, диаграммы «цвет—величина» которых отличаются от диаграмм скоплений того же возраста в Галактике (очень немногочисленных) из-за меньшего содержания тяжелых элементов.

* * *

Скопление (NGC 2070), находящееся в центре Тарантула (рис. 12.5), является, очевидно, самым молодым скоплением массивных звезд, известным нам; оно видно лишь в тех длинах волн, на которых не излучает обволакивающая его гигантская эмиссионная туманность. Она видна и невооруженным глазом как диффузная звезда и близка по блеску к туманности Ориона, хотя находится примерно в 100 раз дальше нее, и, значит, светимость ее выше в $100^2 = (2,512)^{10}$ раз, так что на том же расстоянии Тарантул был бы на 10^m ярче туманности Ориона: он светил бы ярче Венеры и занимал бы собой все созвездие Ориона! По своей массе и по степени концентрации звезд к центру погруженное в Тарантул скопление заслуживает название шарового, и это самое молодое известное нам шаровое скопление — возраст его не более $3 \cdot 10^6$ лет.

(Здесь надо оговориться, что часто под шаровыми скоплениями понимают лишь классические старые шаровые скопления — и для изучающих их астрономов молодым будет скопление, возраст которого не 14, а скажем, 12 млрд лет. Мы же называем шаровыми все массивные компактные и предположительно гравитационно связанные скопления — на вид они не отличаются от классических старых шаровых скоплений.)

В центре центрального скопления Тарантула находится яркий объект, который по каталогу Радклифской обсерватории носит обозначение R 136; он на 2^m ярче всех звезд скопления, в спектре его имеются признаки и звезды класса O, и Вольфа—Райе одновременно. Истинная природа R 136 была одно время предметом споров. Первые попытки разрешить R 136 интерференционными методами были неудачны и привели к предположению, что это единый объект с массой около 3 000 масс Солнца. Однако теоретический предел для массы устойчивых звезд составляет

около ста солнечных. И действительно, данные спекл-интерферометрии показали в 1985 г., что объект состоит не менее чем из восьми компонентов; оказалось даже, что R 136 давно внесен в каталоги двойных и кратных звезд.

Помимо R 136, в NGC 2070 находится еще 12 звезд типа Вольфа—Райе и еще 8 в его короне, тогда как во всем БМО известна 101 звезда этого типа — на площади, в тысячу раз большей! Изучение NGC 2070 имеет исключительное значение для понимания закономерностей образования и ранней эволюции звезд больших масс. Оно, в частности, показывает, что в богатых молодых скоплениях распределение звезд по массам такое же, как в обычных скоплениях, и тоже имеются звезды малых масс. Многие из наиболее массивных звезд NGC 2070 находятся в короне скопления; имеется гипотеза, что такие звезды были выкинуты из ядра в результате динамического взаимодействия звезд при их близких прохождении.

Между прочим, цефеиды — наиболее далеко проэволюционировавшие и, следовательно, самые массивные звезды среди членов данного скопления — также часто встречаются именно в короне; для них может действовать тот же механизм. Обычная точка зрения состоит в том, что массивные звезды постепенно стягиваются к центру скопления, а менее массивные, приобретая при сближениях большие скорости, могут его покинуть. Однако новые расчеты динамической эволюции скоплений показывают, что самые массивные звезды быстро оседают к центру скопления; их тесные сближения в плотном ядре скопления приводят к тому, что многие из них приобретают большие скорости.

На западной окраине молодого звездного комплекса 30 Золотой Рыбы вспыхнула первая со времен Кеплера Сверхновая, видимая невооруженным глазом; это случилось 23 февраля 1987 г. Звезда, обозначенная как SN1987A, была замечена сначала просто глазом и тотчас же на пластинках — она была 5-й величины, и блеск ее затем возрос к концу марта до 3-й величины (рис. 12.6). Первой задачей было установить, какой объект вспыхнул как Сверхновая. Несколько групп (в том числе и наша в ГАИШ) одновременно пришли к выводу, что она сияет на месте голубого сверхгиганта Sk-69°202, звезды 12-й величины. Этот сверхгигант указан стрелкой на рис. 9.1, который можно сравнить с рис. 12.6.

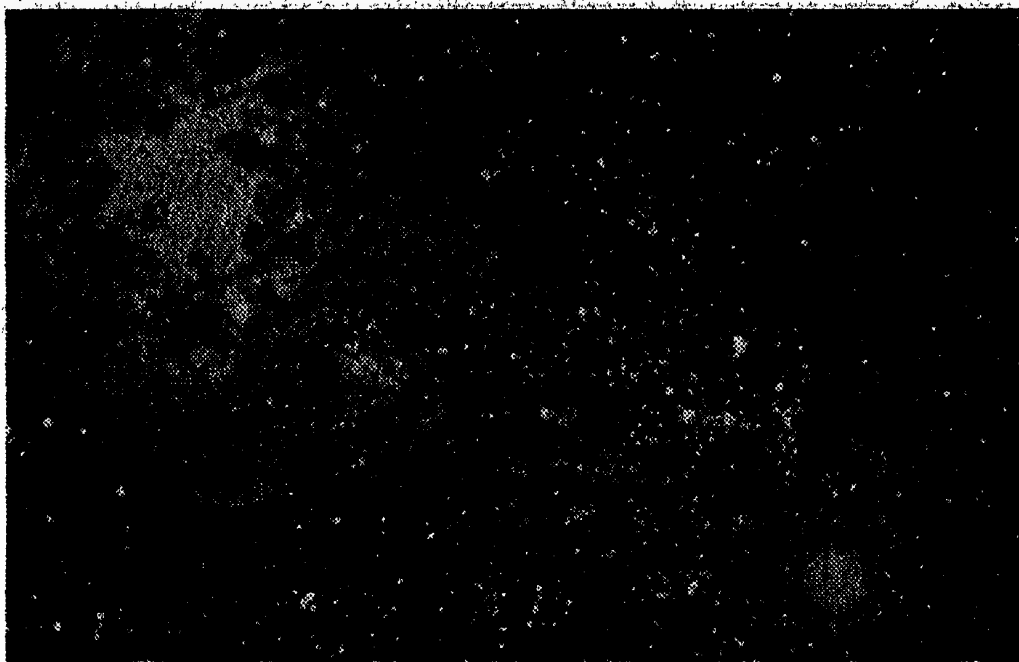


Рис. 12.6. Тарангул (слева сверху) и Сверхновая SN1987A (справа внизу). Снимок получен весной 1987 г. на Англо-австралийской камере Шмидта

Это было неприятным сюрпризом для теоретиков, которые ожидали, что Сверхновые II типа (о принадлежности к которому говорил



Рис. 12.7. Звездный остаток SN1987A, окруженный тремя колечками ионизованного газа (слева). Справа и справа внизу — звезды бедного рассеянного скопления, членом которого был погибший голубой сверхгигант. Эти звезды сливаются в два звездообразных объекта, видимых на рис. 9.1 справа от изображения погибшего сверхгиганта. Снимок получен на космическом телескопе им. Хаббла. Негативное изображение

этим данным мы построили диаграмму «цвет—величина», которая выглядела вполне нормально для скопления с возрастом около 12 млн лет; нормальным было и положение на этой диаграмме взорвавшегося сверхгиганта. Итак, прогенитор Сверхновой находился в короне бедного скопления и был его самой массивной звездой — знакомая ситуация. Изучая звезды этого скопления, можно точно установить химический состав исчезнувшей ныне звезды, и странно, что этого до сих пор не сделано. Признаков рождения пульсара в оставшемся после вспышки звездном объекте нет (пока?), сейчас он окружен газовым колечком; над ним и под ним — еще два загадочных кольца (рис. 12.7).

Природа их неясна. Скорее всего, это результат воздействия прецессирующих джетов, бьющих из оставшегося после вспышки объекта, на околозвездную среду.

спектр) возникают из массивных красных сверхгигантов или звезд Вольфа—Райе. Однако правильность отождествления была вскоре доказана — после ослабления блеска Сверхновой спектр сверхгиганта V31 так и не появился вновь. Очень странно смотреть на старые фотографии и сознавать, что вот этой звезды уже нет.

Позднее мы обратили внимание на небольшую компактную группу звезд рядом со Сверхновой — она оказалась в каталоге звездных скоплений БМО, составленном М. Контизас и др. В другой публикации содержались фотометрические данные для области Сверхновой, в том числе и для звезд этого скопления, существование которого не было, впрочем, замечено авторами статьи. По

ТУМАННОСТЬ АНДРОМЕДЫ

Галактики... всегда будили в нем неистовое желание узнать законы их устройства, историю их возникновения и дальнейшую судьбу.

Иван Антонович Ефремов

Ученый должен систематизировать факты. Наука состоит из них, подобно тому, как здание состоит из кирпичей. Однако простое нагромождение фактов похоже на науку не более, чем груда кирпичей на дом.

Анри Пуанкаре

Туманность Андромеды (М 31) — единственная на северном небе галактика, видимая невооруженным глазом. Без всяких приборов можно увидеть объект, находящийся на расстоянии 2 300 000 световых лет. Многие и многие яркие сверхгиганты туманности Андромеды, рассыпанные вдоль ее спиральных ветвей, на самом деле уже погасли. Мы видим М 31 такой, какой она была в те времена, когда на древе эволюции только-только появилась почка, давшая начало его вершине — человечеству.

Плоскость М 31 наклонена к лучу зрения (угол между ними составляет всего лишь около 15°), и это сильно мешает расшифровке ее структуры. На фотографиях туманности видны как будто спиральные ветви; можно проследить их направление, но если отметить эмиссионные туманности (их известно около 1 000), исправив их положение за наклон галактики, как это сделал Х. Арп, окажется, что многие из областей Н II расположены по окружности диаметром около 10 клк. Внутри и вне ее эмиссионные туманности можно связать отрезками спиралей.

Скорее всего, в М 31 два туго закрученных спиральных рукава со многими ответвлениями. Вальтер Бааде, отдавший тридцать лет жизни исследованию М 31 с помощью 100- и 200-дюймового телескопов, считал, что с каждой стороны от ядра к югу и северу можно насчитать до семи пересечений большой оси со спиральными ветвями, но и он не мог



Рис. 13.1. Спиральная галактика М 31 — туманность Андромеды — и ее ближайшие спутники — эллиптические галактики NGC 205 (вверху) и М 32 (внизу под ядром М 31). Негативное изображение

сказать, являются ли более далекие ветви последовательными оборотами предыдущих. Если идти от центра галактики наружу, характер спиральных рукавов, как их описывает Бааде, меняется: сначала это в основном пылевые ветви, затем появляется все больше ярких сверхгигантов (здесь под этим словом мы будем понимать и ярчайшие голубые звезды главной последовательности); на расстоянии около 10 кпк от центра сверхгигантов становится особенно много, а доля пыли убывает, и, наконец, начинает исчезать сначала пыль, потом и яркие звезды. Наиболее далекие группы голубых звезд находятся на расстоянии в 25 кпк от центра, а шаровые скопления, как показали исследования А. С. Шарова, встречаются на расстояниях до 30 кпк и больше.

На фотографиях М 31 (рис. 13.1) помимо спиральных ветвей бросаются в глаза четыре области, выделяющиеся своей яркостью, — это центральная область галактики, два ее эллиптических спутника (М 32 и NGC 205), а также яркое звездное облако NGC 206 = OB78 (рис. 13.2 и 13.3), находящееся в юго-западной части галактики. Спиральная ветвь S4, в которой находится NGC 206, и две соседние внутренние ветви

в южной стороне М 31 отклоняются в сторону М 32, — Бааде считал, что этот спутник туманности Андромеды оказывает приливное влияние на ее спиральные ветви. Впрочем, на наш взгляд, сдвиг точки поворота рукава S4 к югу от большой оси галактики объясняется тем, что угол закручивания данного отрезка рукава необычно велик (рис. 13.1 и 13.2).

Северный спутник галактики Андромеды, NGC 205, на фотографиях, полученных со светосильными инструментами, выглядит почти как спираль с перемычкой, хотя ее звездное население, без сомнения, типа II. Дело в том, что от NGC 205 прямо в сторону центра М 31 отходит приливный выступ, который можно считать слабо закрученной спиральной ветвью. Симметрично ему в противоположную сторону направлен другой выступ. NGC 205 можно было бы рассматривать как иллюстрацию гипотез, объясняющих возникновение спиральных ветвей приливным действием другой галактики при близком ее прохождении.

Может быть, наблюдатели в М 31 видят перемычки, связывающие нашу Галактику с Магеллановыми Облаками. Мы завидуем им — у них под боком две эллиптические галактики и чуть подальше — прекрасная спираль М 33 в Треугольнике. Но, может быть, и они смотрят на нас с завистью — рядом с нами две неправильные галактики. А любопытно было бы узнать, как классифицируют нашу Галактику астрономы туманности Андромеды...

Яркая центральная область М 31, несмотря на все усилия Хаббла, не разрешалась на звезды, и в 1929 г. он еще считал возможным, что она состоит из газа, который только на периферии туманности сконденсировался в звезды — в духе господствовавших тогда воззрений Джинса на природу спиральных галактик. Спутники туманности Андромеды — ближайшие к нам эллиптические галактики — вели себя так же, как и ядро туманности. Внешние части ближайших спиралей, как и неправильные галактики, разрешить на звезды со 100-дюймовым телескопом не составляет труда — мы видели, что, в сущности, это сделал еще Ричи с 60-дюймовым рефлектором; но эллиптические спутники М 31 оставались не разрешенными.

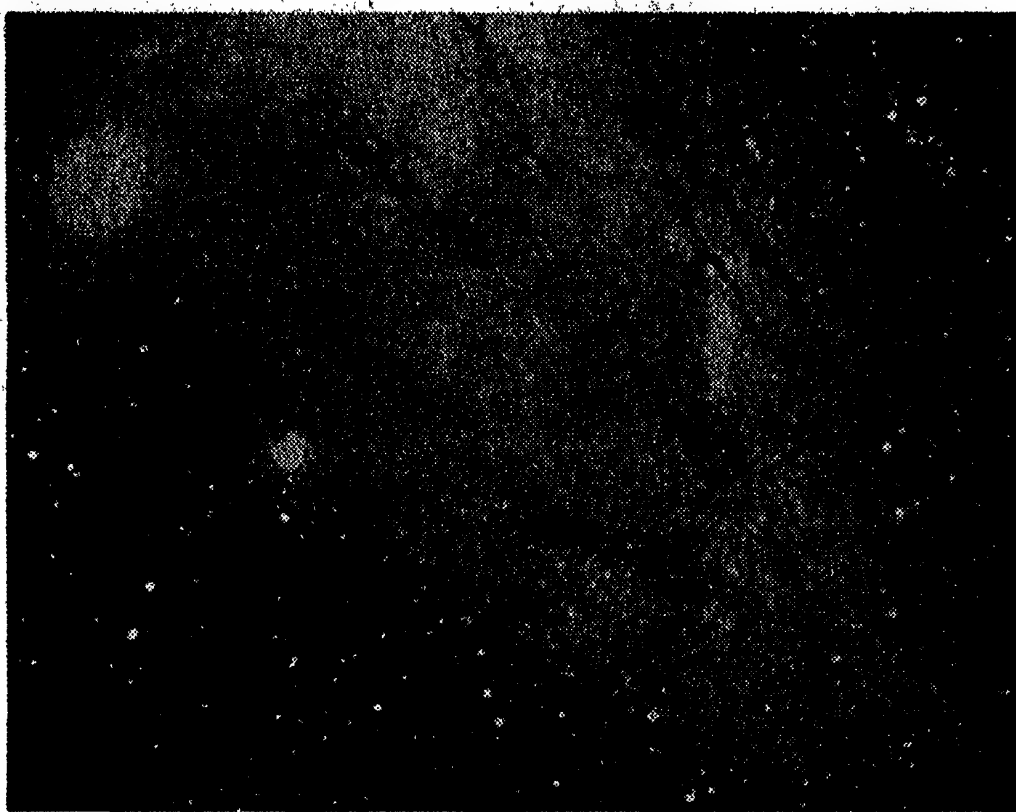


Рис. 13.2. Юго-западный «угол» галактики Андромеды, обрисовываемый отрезком спирального рукава S4. Перед его внутренним краем находятся области с максимальной плотностью пыли и газа. На расстоянии М 31 — 1 кпк = 5'



Рис. 13.3. Гигантский комплекс звезд высокой светимости, MGC 206 = OB 78, видимый в рукаве S4 справа на предыдущем снимке, показан здесь в большем масштабе. Его размеры вдоль рукава — около 1 кпк, но эту сверхассоциацию можно поделить на две большие и две-три меньшие группировки

Многие считали, что это объясняется различиями в составе звездного населения — отсутствием в центральной части М 31 и в ее спутниках звезд очень высокой светимости. Проблема разрешения центральной области М 31 на звезды казалась безнадежной, потому что ее интегральный спектр оценивался как dG5. Если самыми яркими являются карлики главной последовательности класса G5, то при их светимости в $+5^m$ не было никакой надежды увидеть отдельные звезды. Однако, занимаясь уточнением шкалы звездных величин в М 31, Вальтер Бааде (1893–1960) заметил в 1942 г., что на снимках, полученных при наилучших изображениях, в ядерной области туманности можно заметить признаки разрешения на звезды («Повсюду возникает определенная структура, но ни одной звезды еще не видно», — писал Бааде). К началу Второй мировой войны Бааде, работавший на Маунт Вилсон с 1929 г., все еще не оформил себе американское гражданство, и поэтому ему было запрещено менять место жительства. Он не очень-то об этом жалел, потому что многие астрономы обсерватории Маунт Вилсон были призваны в армию или загружены работой над военными проектами, и 100-дюймовый телескоп оказался почти в безраздельном владении Бааде. К тому же в Лос-Анджелесе, соседнем огромном городе, была введена светомаскировка, и экспозицию даже в синих лучах можно было доводить до 90 мин. Бааде очень хорошо это использовал.

Было, однако, ясно, что достичь успеха с «синими» пластинками невозможно. Единственный шанс состоял в использовании пластинок, чувствительных к красным лучам, на которых фон неба становился заметным только за 8—9 часов экспозиции. Несмотря на меньшую чувствительность красных пластинок, для звезд А0 они давали проигрыш всего на $0^m,4$ (благодаря меньшей яркости ночного неба в красных лучах и возможности увеличения экспозиции). Но уже было известно, что показатель цвета центральной части М 31 около $+0^m,9$. Поэтому красные пластинки могли дать выигрыш в предельной величине на $0^m,5$. Именно на это и надеялся Бааде.

Он понимал также, что необходимы не только отличные изображения, но и идеальное фокусирование пластинки во время всей много-часовой экспозиции. Установка фокуса с помощью ножа Фуко требует перерыва экспозиции и наводки на яркую звезду, и это казалось необходимым, ибо в течение экспозиции фокус менялся на несколько миллиметров (зеркала 100-дюймового телескопа сделаны из простого стекла с большим коэффициентом температурного расширения).

Бааде в совершенстве освоил метод фокусировки по характеру испорченного комой изображения гидировочной звезды, рассматриваемого с увеличением в 2 800 раз. Применение этого метода возможно лишь при безукоризненных изображениях. Целый год, с осени 1942 г., тянулись приготовления. И в августе—сентябре 1943 г. Бааде разрешил на звезды центральную часть М 31, а вскоре и оба ее спутника.

Полученные Бааде снимки оказались усыпанными десятками тысяч красных звезд — и сразу же встал вопрос, что же это за звезды? Конечно, это гиганты, но гиганты, типичные для рассеянных скоплений и фигурирующие на обычной диаграмме Герцшпрунга—Рассела, имеют светимость около 0^m . Таких слабых звезд Бааде, безусловно, не мог получить на своих пластинках в 1943 г. Не сразу вспомнил он, что существуют и красные гиганты, на 3^m более яркие, — это звезды шаровых скоплений. Только с ними и можно было отождествить звезды, появившиеся на его снимках. Уверенность в этом окрепла, когда Бааде разрешил на звезды и карликовые эллиптические галактики NGC 147 и NGC 185, находящиеся в 12° от М 31. Одинаковость лучевых скоростей этой пары и М 31 позволяла считать их далекими спутниками туманности Андромеды, что и было подтверждено Бааде. Светимость NGC 147 и NGC 185 существенно меньше, чем у М 32 и NGC 205. Это — промежуточное звено между близкими спутниками М 31 и совсем карликовыми галактиками в Скульпторе и в Печи, найденными Шепли в 1938 г.

Галактика в Скульпторе, по описанию Шепли, представляет собой рой очень слабых звезд диаметром в $75'$; самые яркие звезды имеют блеск $17^m,8$. Похожа на эту систему галактика в Печи, но ее звезды еще слабее. На небольших астрографах такие звезды остаются за пределами пластинки, и эти галактики исчезают бесследно — зато с помощью мелкомасштабных камер они получают как туманные пятнышки.

От эллиптических галактик они отличаются лишь большей разреженностью и меньшим размером. Хаббл и Бааде обнаружили в системах Печи и Скульптора звезды типа RR Лиры; как и в шаровых скоплениях, они оказались на $1^m,5$ слабее ярчайших звезд. Таким образом, от шаровых скоплений к спутникам туманности Андромеды протягивалась непрерывная цепочка, и это окончательно убедило Бааде, что красные звезды на его пластинках — гиганты, аналогичные гигантам шаровых скоплений.

Радикальное отличие звездного населения эллиптических галактик и ядра туманности Андромеды от населения ее внешних частей и окрестностей Солнца привело Бааде в 1944 г. к выводу о существовании двух типов звездного населения, характеризующихся двумя типами диаграммы «цвет—светимость». Население II имеет диаграмму, типичную для шаровых скоплений; звезды этого типа (и только этого) населяют как шаровые скопления, так и эллиптические галактики, и, наряду с населением I, центральные области спиральных галактик. Население I, с обычной диаграммой «цвет—светимость» — это население рассеянных скоплений, окрестностей Солнца, спиральных ветвей галактики. Население I концентрируется к плоскости спиральных галактик, население II — к их центру. Это очень хорошо видно на фотографиях спиральных галактик, видимых с ребра (см. рис. 11.1).

Вводя концепцию звездных населений, Бааде отметил, что, по сути дела, ту же корреляцию между пространственным распределением и физическими свойствами звезд нашей Галактики Оорт заметил еще в 1926 г. Деление звезд и скоплений Галактики на три системы с различной степенью концентрации к ее плоскости в 1933 г. предложил Курт Боттлингер.

В 1943 г. Б. В. Кукаркин на основе изучения пространственного распределения переменных звезд разбил население Галактики на плоскую, промежуточную и сферическую составляющие; различие их кинематики детально исследовал П. П. Паренаго. Затем выяснилось, что в объектах населения II (сферической составляющей) содержание тяжелых элементов на один-два порядка меньше, чем в Солнце и других звездах населения I. Среди объектов населения II нет молодых; они образовались на стадии сжатия сфероидальной газовой протогалактики и сохранили пространственное распределение и кинематику этого газа; объекты населения I образовались, когда газ уже осел к диску и обогатился тяжелыми элементами, поступающими в межзвездную среду при взрывах сверхновых. В диске есть и очень старые звезды, но сохранился еще и газ, в местах наибольшей плотности которого (в спиральных рукавах) продолжается звездообразование и сейчас.

Таким образом, разрешение на звезды центральной части туманности Андромеды утвердило плодотворную концепцию звездных населений, но, как позже вспоминал Бааде, «смешная сторона ситуации состояла в том, что после всех этих усилий оказалось, что необходимости в них не было». Галактики в Скульпторе и Печи были описаны Шепли как новый тип звездных систем, но их населяли такие же звезды, как звезды шаровых

скоплений. С другой стороны, это были карликовые эллиптические галактики, и исследовав их, мы, в сущности, уже знали, из чего состоят эллиптические галактики. И тем не менее, говорит Бааде, «понадобился трудный обходной маневр, прежде чем блеснул свет истины». Более того, ведь резкие отличия диаграмм шаровых скоплений от обычной диаграммы «цвет—светимость» были установлены Шепли еще в конце 10-х гг. XX в. У всех шаровых скоплений ярчайшими звездами были красные гиганты, светимость которых росла с увеличением показателя цвета. И хотя Лундмарк и другие отмечали сходство структуры и цвета шаровых скоплений, эллиптических галактик и ядер спиральных галактик, никто до Бааде не связал все эти факты воедино и не сопоставил их с «аномалиями» диаграмм шаровых скоплений. Но меньше всего надо упрекать астрономов прошлого. Множество каких-то разрозненных фактов и по сей день ждет объединения в обобщающих концепциях; по мере накопления данных масса фактов становится выше критической и возникает понимание...

Сейчас понятие населений I и II многие астрономы считают устарелым. Все гораздо сложнее, и во многих галактиках имеются объекты с промежуточными характеристиками. Однако для таких почти изолированных галактик, как Млечный Путь и М 31, концепция двух звездных населений по-прежнему полезна. Во всяком случае, наиболее выраженные объекты обоих населений резко отличаются всеми своими характеристиками. Практически не бывает молодых объектов с очень низким содержанием тяжелых элементов (исключения встречаются лишь в карликовых компактных галактиках, которые могут быть действительно недавно образовавшимися объектами), и уж совсем не бывает очень старых звезд с высоким содержанием «металлов». Закономерности, связывающие возраст, кинематику и химический состав звезд, нашли объяснение в теории эволюции звезд и галактик. Важное развитие состоит, однако, в нарастающем понимании того, что галактики, в отличие от звезд и звездных скоплений, не являются изолированными системами и во многих случаях носят следы взаимодействия с соседями. Многие астрономы даже полагают, что гигантские эллиптические галактики являются результатом слияния нескольких спиральных.

Концепция звездных населений хорошо описывает результаты эволюции изолированной галактики, но следы аккреции карликовых галактик и даже «полупереваренные» карлики наблюдаются и в нашей Галактике, и в М 31, в которых звездные населения диска и гало четко различаются по многим характеристикам. Последнее, впрочем, не относится к балджам галактик, которые являются, очевидно, смесью звезд разных возрастов и химического состава.

* * *

Осенью 1949 г. после двухлетних отладочных работ началось систематическое фотографирование в главном фокусе 5-метрового рефлектора им. Хейла на Маунт Паломар. Дж. Хейл начал мечтать о еще большем телескопе, едва студиймовик на Маунт Вилсон вступил в строй. С 1925 г. он

начал изыскивать средства и в 1928 г. преуспел в этом; они вновь черпались из частных источников. Было решено остановиться на вдвое большем зеркале, чем у 100-дюймового телескопа. Среди многих специалистов, принимавших участие в создании нового телескопа, надо назвать, помимо Хейла, оптика Дж. Андерсона и конструктора Р. Портера, чьи рисунки 200-дюймового телескопа и различных его узлов широко известны, а также инженера М. Серюрье, предложившего новую конструкцию трубы.

Работы, приостановленные во время войны, были закончены только к концу 1947 г. К этому же времени на Маунт Паломар (освещенность неба на Маунт Вилсон непрерывно росла — Лос-Анджелес был слишком близко) были закончены гигантская башня диаметром в 42 м и монтаж телескопа. 140-тонная труба (точнее говоря, решетчатая конструкция, связывающая зеркало и главный фокус с монтажкой) настолько тяжела, что пришлось вновь поместить ее внутри ярма, служащего полярной осью. Однако все хотели иметь доступными и близполярные области, и северный конец ярма был выполнен в виде подковы диаметром 14 м, внутрь которой ложится труба, направленная на полюс мира, а наружная сторона служит подшипником. 530 тонн веса трубы и монтажки можно повернуть одним движением руки.

Кабина наблюдателя помещена внутри телескопа у главного фокуса; она имеет в диаметре 1,8 м, но загораживает лишь 13 % света, падающего на главное зеркало, середина которого (диаметром 1 м) все равно к тому же просверлена для наблюдений в кассегреневском фокусе. Следя за высверливанием этого отверстия, Хейл вспоминал, как он был счастлив, когда на Йеркскую обсерваторию был доставлен объектив большого рефрактора — того же размера, что и это отверстие...

21 декабря 1947 г. несколько человек впервые посмотрели на звезды в 200-дюймовый телескоп. Среди них были Э. Хаббл, Я. Оорт, А. Боуэн. Испытания зеркала на телескопе, проведенные в течение 1948 г., показали необходимость некоторой доводки его поверхности и усовершенствования системы разгрузки. Систематическое фотографирование в главном фокусе началось 12 ноября 1949 г., а через год стали планомерно использовать спектрографы телескопа. Дж. Хейла уже не было в живых, и телескоп заслуженно получил его имя.

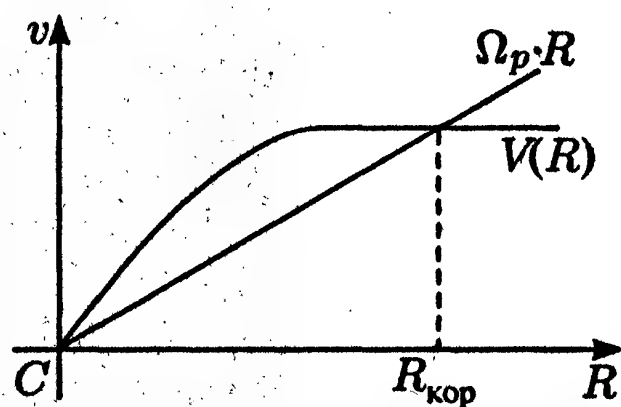
В. Бааде продолжил с этим телескопом исследования М 31, и среди первых результатов был пересмотр нуль-пункта зависимости «период—светимость», о чем мы уже рассказывали. Он выбрал четыре области вдоль южной части большой оси, на расстоянии от 15' до 96' от центра галактики. Поле 5-метрового рефлектора 16', а размеры М 31 около 245'×75', так что четыре поля, выбранные Бааде для изучения переменных звезд, покрывают лишь незначительную часть видимой площади галактики. Систематическое фотографирование продолжалось несколько лет; пластинки изучались Бааде совместно с Г. Суоп и С. Гапошкиным, и результаты были опубликованы уже после смерти Бааде, последовавшей в 1960 г. В этих четырех полях было найдено свыше 600 цефеид, причем

в ближайшем к центру поле они составляют третью часть всех переменных, а в более далеких областях, приходящихся на яркие спиральные ветви — уже две трети. Только совсем недавно исследования цефеид в галактике Андромеды продолжила команда польских астрономов.

* * *

Благодаря зависимости «период—возраст» распределение цефеид в поперечном сечении спиральных рукавов дает наилучшую возможность проверить, наблюдается ли в спиральных рукавах градиент возрастов, предсказываемый волновой теорией спиральной структуры. Согласно этой теории, спиральная волна повышенного гравитационного потенциала вращается с постоянной угловой скоростью вокруг центра галактики и в ней концентрируются все объекты с малой дисперсией скоростей — газовые облака и не слишком старые звезды. Внутри круга коротации, находящегося обычно на окраине галактики (рис. 13.4), скорость обращения звезд и газа вокруг ее центра может значительно превышать скорость спирального узора, и если различие скоростей превышает дисперсию скоростей в газе, на внутреннем крае рукава возникает ударная волна и зона повышенной плотности газа, стимулирующая звездообразование. Рожденные на границе рукава звезды обгоняют его и по мере удаления от внутреннего края рукава стареют. Поэтому в поперечном сечении рукава должен наблюдаться градиент возрастов звезд, из которого можно определить разность скоростей спирального узора и звезд. Однако вторичное звездообразование и сложные движения звезд внутри рукава обычно «замывают» градиент возрастов, не говоря уже о том, что заметить его возможно лишь в близких галактиках.

Рис. 13.4. Схематическая кривая вращения галактики и прямая, соответствующая твердотельному вращению спирального узора, пересекаются на расстоянии $R_{\text{кор}}$ (называемом радиусом коротации) от центра галактики C , на котором скорости твердотельного вращения спирального узора $\Omega_p \cdot R$ и дифференциального вращения $V(R)$ галактики равны



Как показывают рис. 13.2, 13.5 и 13.6, в рукаве S4 действительно наблюдается последовательность возрастов, ожидаемая с точки зрения волновой теории. Видна мощная пылевая полоса перед внутренним краем рукава, с ней совпадает и максимум плотности H I. Новые данные показывают, что молекулярный водород во всем рукаве S4 находится в центральных, самых плотных областях сверхоблаков нейтрального водорода, в точности так же, как в рукаве Киля в нашей Галактике; эти сверхоблака тянутся вдоль внутреннего края звездного рукава.

В центральной и юго-восточной частях S4 области H II встречаются почти исключительно у внутреннего края звездного рукава; это означает,

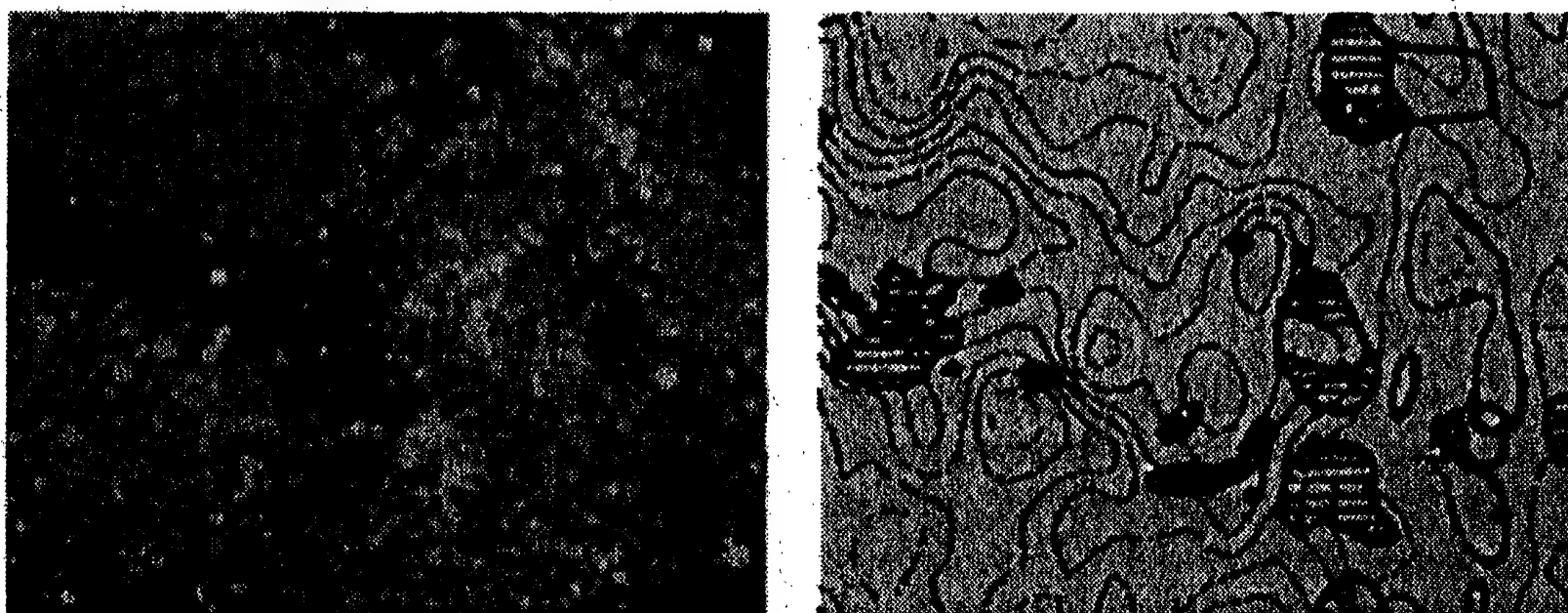


Рис. 13.5. Слева — участок рукава S4 галактики Андромеды, в котором был обнаружен градиент возрастов наиболее ярких звезд. Видны зоны высокой плотности пыли перед внутренним краем звездного рукава. Справа — изоденсы HI и области HII (зачернены или заштрихованы) в той же области M 31 (по работе С. Анвина). Видно, что наибольшая плотность HI наблюдается в пылевых полосах перед внутренним краем звездного рукава, вдоль которого концентрируются области HII.

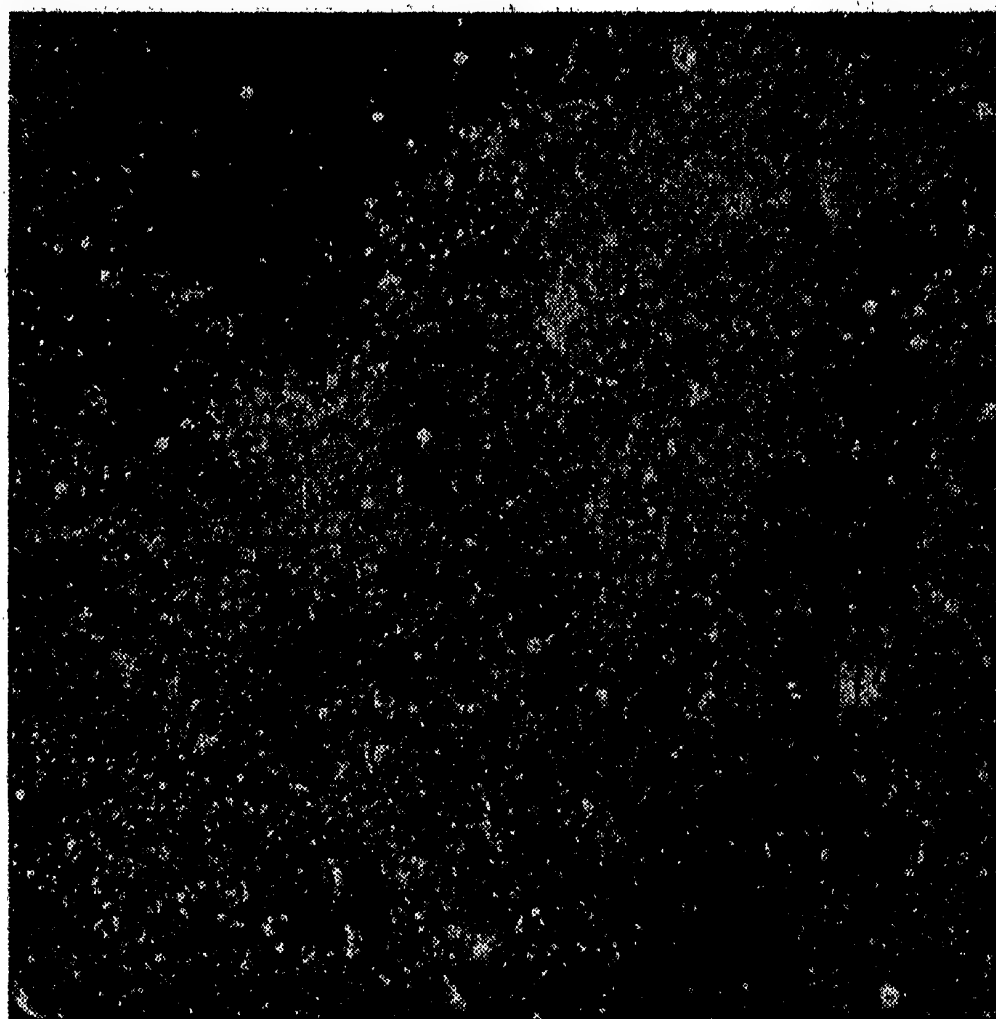


Рис. 13.6. Звездный комплекс OB 81, расположенный у поворотной точки рукава S4 (в центре рис. 13.5). В левом верхнем углу виден участок газо-пылевой полосы, обрамляющей звездный рукав. Изображение получил С. Ларсен на 2,5-метровом телескопе NOT на острове Ла Пальма

что здесь же сосредоточены и наиболее молодые O-звезды. Максимумы плотности атомарного водорода (HI) и молекулярного (H_2) совпадают друг с другом, указывая на области максимального сжатия газа в волне плотности. Молекулы H_2 образуются в областях с максимальной плотностью межзвездной среды и низкой температурой — условия, не-

обходимые для звездообразования, так что максимальная плотность газа и пыли должна быть в областях, в которых этот процесс только начинается, а зоны H II указывают области, где наиболее массивные звезды уже сформировались и сияют O-звезды с возрастом около 10^6 лет. Дальше от края рукава зон H II почти нет, и это, очевидно, означает, что здесь O-звезды уже проэволюционировали и превратились в нейтронные звезды или черные дыры, а менее массивные B-звезды стали сверхгигантами, в том числе и цефеидами. Используя результаты работы В. Бааде, мы обнаружили, что наиболее молодые цефеиды больших масс и периодов также сосредоточены у внутреннего края рукава (рис. 13.7).

В совместной работе с болгарским астрономом Г. Р. Ивановым мы измерили в 1981 г. блеск ярчайших постоянных звезд в пределах комплекса OB81, расположенного у поворотной точки рукава S4, и сопоставили его с расстоянием звезд от внутреннего края рукава. (Я впервые держал в руках пластинку — полученную на 2-метровом телескопе обсерватории Рожен в Родопских горах, — на которой были видны звезды другой галактики. Изображения, получаемые телескопами теперь, можно увидеть только на экранах компьютера, подержать в руках нельзя...)

Оказалось, что максимальные для данного расстояния от края рукава S4 светимости постоянных звезд (это звезды O—B2), как и наибольшие периоды цефеид, убывают с удалением от внутренней границы рукава. Это и есть градиент возрастов, ибо максимальные светимости звезд и периоды цефеид являются функцией возраста. Ориентироваться надо именно на самые молодые при данном расстоянии звезды.

Градиент возрастов определяется разностью скоростей вращения вещества галактики и спирального узора и, поскольку кривая вращения галактики известна, позволяет оценить угловую скорость вращения последнего. Она оказалась равной примерно $\sim 10\text{--}15$ (км/с)/кпк. Это зна-

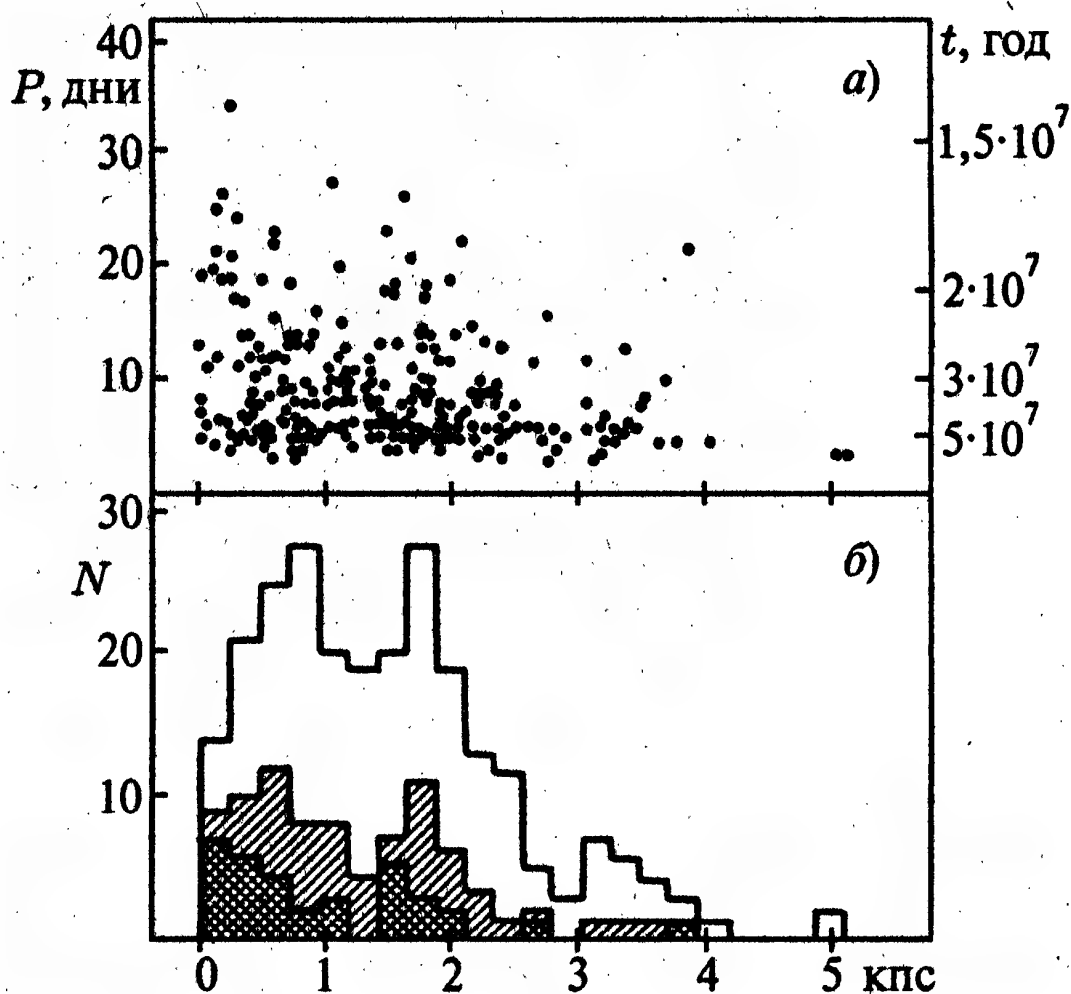


Рис. 13.7. Вверху (а) — зависимость периодов цефеид от их расстояния от внутреннего края рукава S4, внизу (б) — распределение плотности цефеид в функции этого расстояния (двойная штриховка — периоды больше 15 дней, одинарная — больше 10 дней). Молодые цефеиды больших периодов концентрируются к внутреннему краю рукава

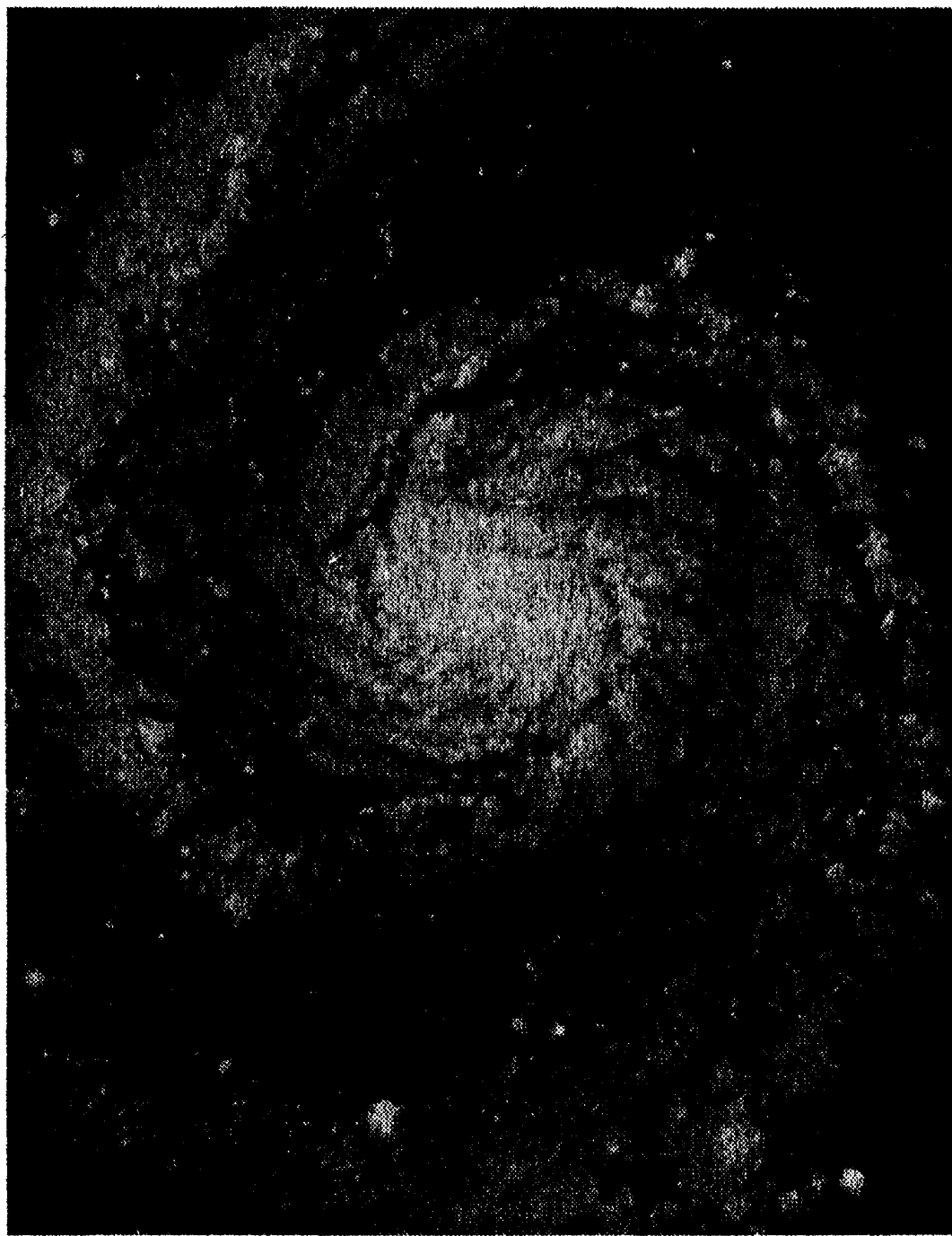


Рис. 13.8. Центральная область "grand design" галактики M 51. Изображение получено на космическом телескопе им. Хаббла

чение вполне может быть ошибочно процентов на 50, и все-таки это, пожалуй, самая надежная из существующих оценок скорости вращения спирального узора в галактике M 31. Эта скорость является свободным параметром волновой теории спиральных рукавов и должна браться из наблюдательных данных.

Вывод о наличии градиента возрастов звезд в участке рукава S4, лежащем сразу же к северу от точки его поворота, подтверждается результатами многоцветной фотометрии звезд, полученной недавно С. Ларсеном на 2,5-метровом Нордическом телескопе (NOT) на Канарских островах (рис. 13.6). Теперь учет поглощения возможен для индивидуальных звезд, и обработка, проведенная Э. Альфаро, показала четкое убывание светимости ярчайших звезд с возрастанием расстояния от внутреннего края рукава. Но мы пока не пришли к согласию, как лучше всего определить величину градиента возрастов из этих данных.

Данные о галактике Андромеды подтверждают, что гравитационная теория волн плотности обладает характерной чертой правильно объясняющих явления теорий — разнообразный круг явлений (само существование регулярных симметричных спиральных ветвей, связь их характеристик

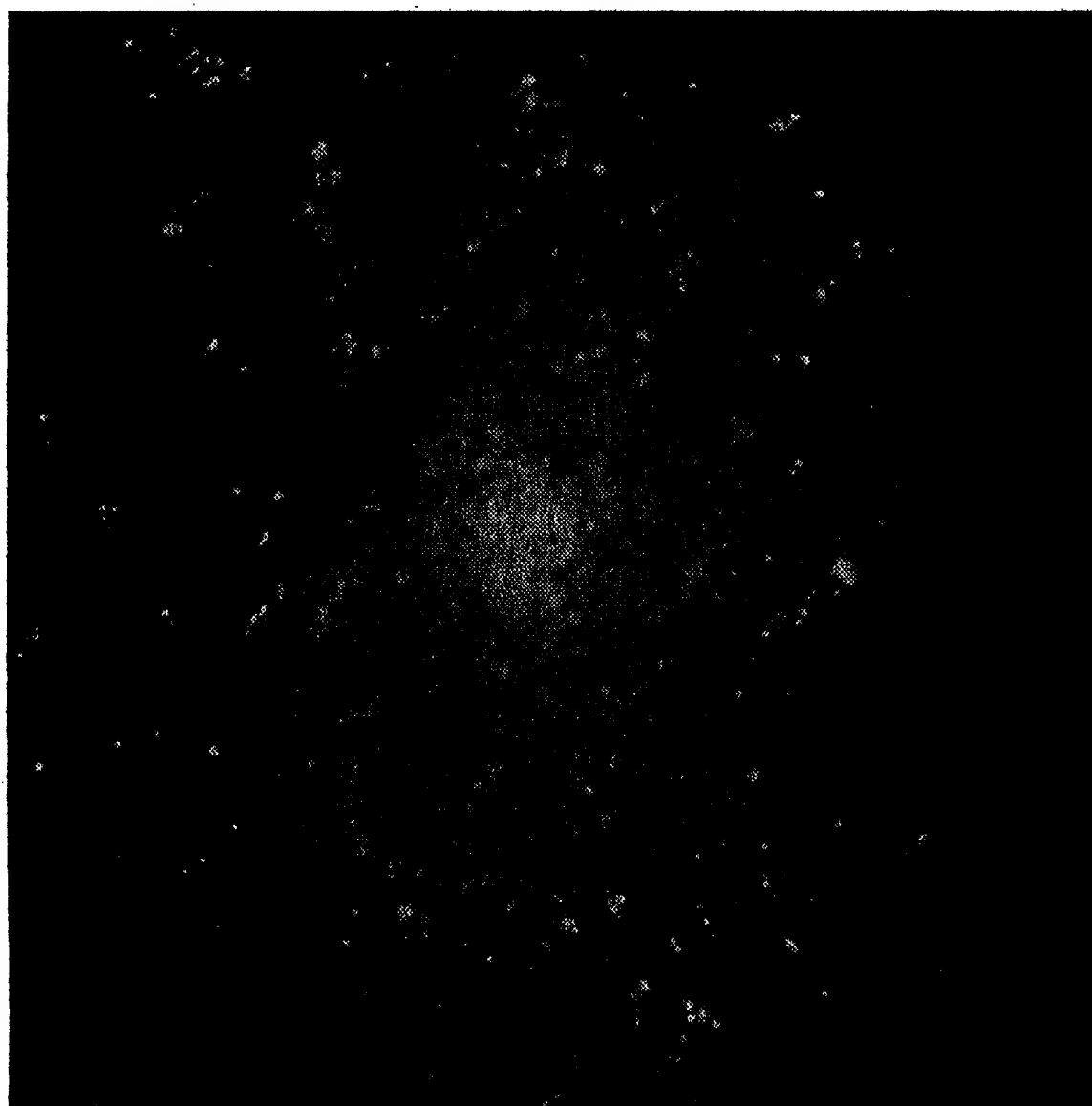


Рис. 13.9. «Флоккулентная» спиральная галактика NGC 7793

с интегральными свойствами галактик, продолжение именно в них образования звезд, градиент возрастов поперек рукава, концентрация в рукаве не только молодых, но и довольно старых звезд) объясняется с единой точки зрения при минимуме исходных допущений. В. Бааде был неправ, когда, основываясь на высокой плотности газа в рукавах, писал, что мы должны забыть о попытках их объяснения в рамках динамики материальных точек. Однако магнитная газодинамика успешно используется для объяснения образования в рукавах звездно-газовых комплексов, часто лежащих на одинаковых расстояниях друг от друга вдоль рукава.

Все сказанное выше относится лишь к галактикам, длинные спиральные рукава которых образуют “grand design”, рисунок, симметричный относительно поворота на 180° вокруг центра галактики (рис. 13.8). Большинство спиральных галактик им не обладает, чаще всего впечатление спирального узора создается наличием многочисленных звездных комплексов, вытянутых и закрученных дифференциальным галактическим вращением. Такие рукава состоят только из молодых звезд (рис. 13.9).

* * *

Керн, ядрышко туманности Андромеды, сидящее в самом ее центре, напоминает по внешнему виду шаровые скопления этой галактики, но ярче их на 3^m . Размеры его составляют $1'',6 \times 2'',8$, что соответствует $5,4 \times 9,4$ пк. Почти звездообразные ядрышки известны и у соседей туманности Андромеды — М 32, NGC 205 и М 33. Спектральные классы их

соответственно dG2, A8 и A7, а у самой M 31 — K0. Это тоже образования, обособленные не только фотометрически, но и кинематически. В других галактиках Местной группы, во всяком случае в неправильных и системах типа Скульптора, ядра отсутствуют. Многие из них можно считать богатыми скоплениями с большой дисперсией возрастов, родившимися из газа, стекающего в динамический центр галактики. Однако в сердцевинах многих массивных галактик безусловно присутствуют черные дыры с массами до сотен миллионов солнечных — это следует из большой дисперсии скоростей звезд и газа в центральных областях галактик.

* * *

Галактику Андромеды часто рассматривают как аналог галактики Млечный Путь, но между ними много и различий, начиная с того, что центральные области M 31 гораздо более спокойны — по крайней мере сейчас — чем в нашей Галактике; в них нет ни признаков звездообразования, ни истечения вещества. Распределение водорода в общем похоже в обеих галактиках — и атомарный, и молекулярный водород отсутствуют в M 31 ближе 6–7 кпк от центра; это, как и сравнимые частота вспышек новых звезд, численность шаровых скоплений (говорящие о высокой доле старого населения, концентрирующегося к центру), а также тугая закрутка спиралей позволяет классифицировать обе галактики как спирали класса Sb. Однако процесс звездообразования в нашей Галактике идет сейчас намного более активно, чем в M 31, и у нас имеется несколько

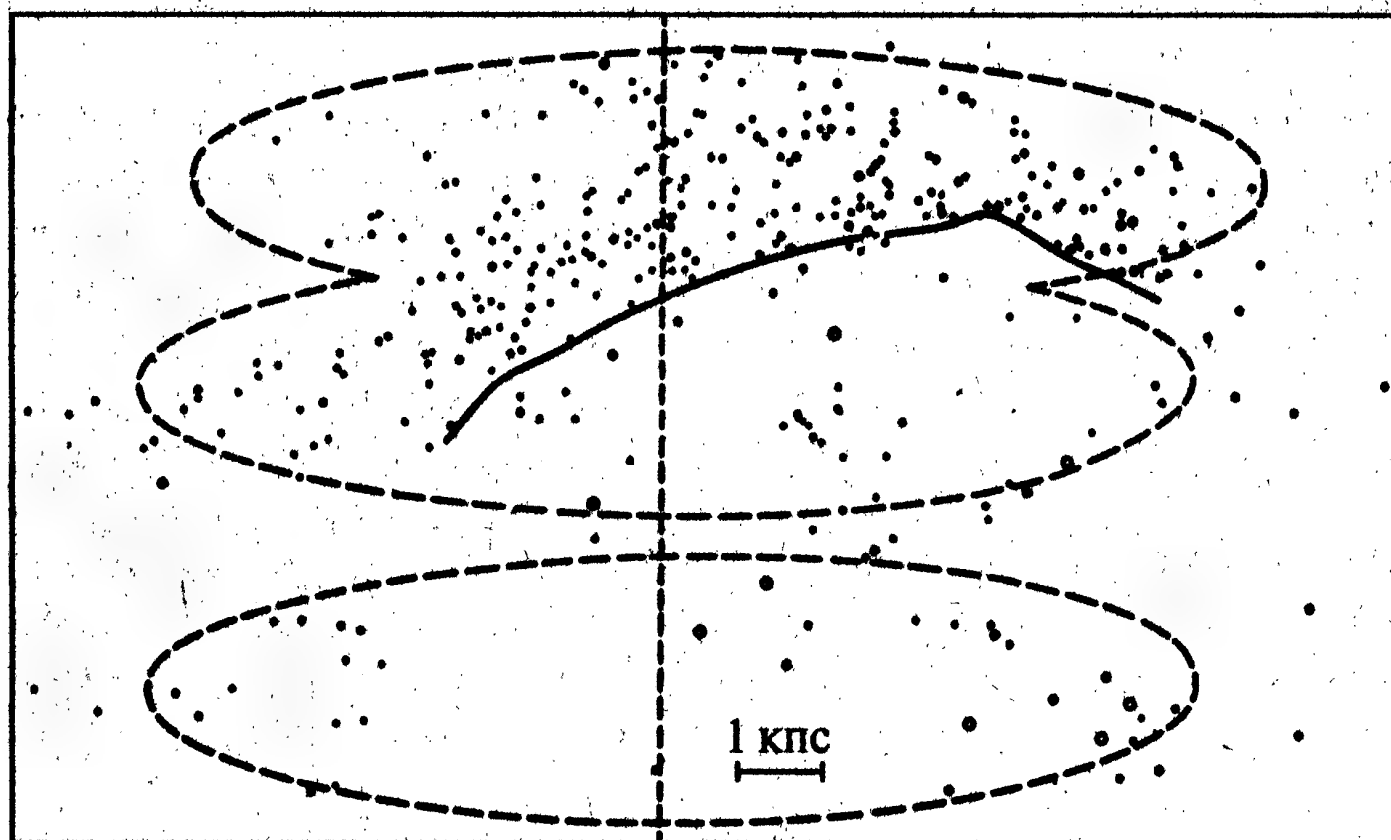


Рис. 13.10. Распределение цефеид в плоскости галактики Андромеды. Указаны границы трех полей Бааде, в пределах которых цефеиды изучены с достаточной полнотой. Показаны положение видимой большой оси M 31 (пунктир) и внутренняя граница рукава S4 (жирная кривая). Галактика вращается против часовой стрелки; рукав, определяемый цефеидами, закручивается, центр M 31 находится в 1 кпк под нижней границей рисунка

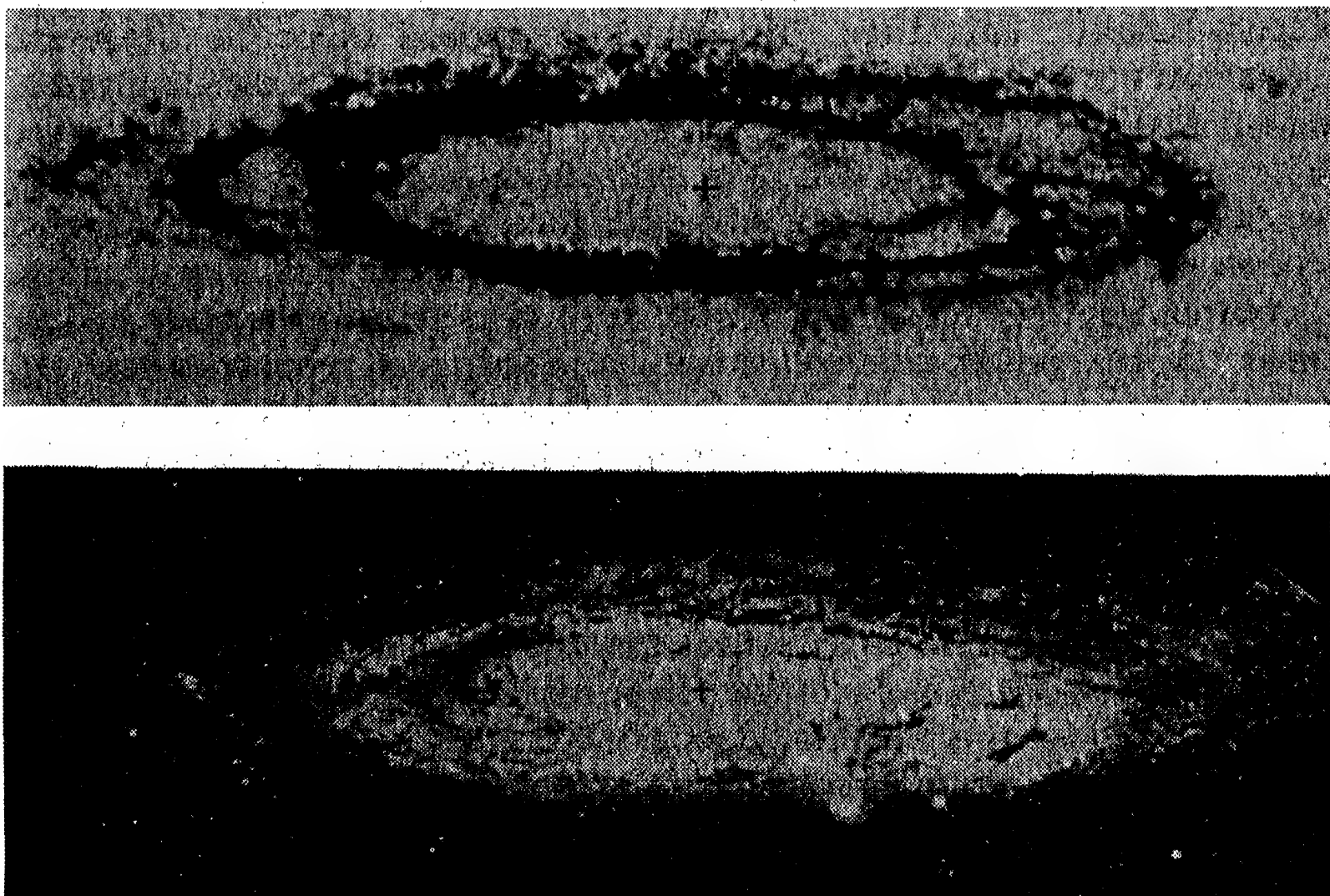


Рис. 13.11. Галактика Андромеды в синих лучах (внизу) и в линии нейтрального водорода 21 см (вверху). Водородные рукава совпадают с пылевыми полосами, тянущимися вдоль звездных рукавов. На юго-востоке галактики (на данном рисунке внизу) изображения двух рукавов в проекции на небосвод сливаются, что свидетельствует о значительном искривлении плоскости галактики. Рисунок взят из работы С. Анвина (1983)

десятков областей H II, более ярких и протяженных, чем крупнейшие из них в М 31; это довод в пользу того, что Галактика ближе к Sc. Массы обеих галактик, по-видимому, близки.

Сравнение распределения цефеид в М 31 и Галактике показывает, что на расстояниях в 7–12 кпк от центров обеих систем оно существенно отличается. Цефеиды (и другие звезды высокой светимости) в М 31 обрисовывают мощный спиральный рукав, а вне его их почти нет (рис. 13.10); в окрестностях Солнца молодые объекты концентрируются к спиральным рукавам слабее и в распределении цефеид нет пустот, причем важно отметить, что наблюдательная селекция могла бы только создать их, но не замкнуть. Более слабая, чем в М 31, выраженность спиральной структуры в окрестностях Солнца говорит, возможно, о том, что мы живем неподалеку от области, находящейся от центра на расстоянии радиуса коротации, и поэтому характеристики околосолнечных спиральных рукавов ближе к наблюдаемым у рукава S6 в М 31, а мощный рукав Киля—Стрельца уже далек от коротации, как и рукав S4 в М 31. Это означает, что угловая скорость вращения спирального узора должна быть в нашей Галактике близка к 20–25 (км/с)/кпк. Такая величина была получена уже давно Ю. Н. Мишуровым, Е. Д. Павловской и А. А. Сучковым при исследовании кинематики и пространственного распределения сверхгигантов, и в первую

очередь цефеид, Галактики. Это значение угловой скорости согласуется с предложенной Л. С. Марочником и А. А. Сучковым моделью спиральных волн плотности для Галактики, согласно которой их возбуждает отклонение ее центральных областей от осевой симметрии. Это предположение подтверждается недавним обнаружением в Галактике бара, короткой перемычки. Эта картина увязывает воедино самые различные данные и кажется поэтому правдоподобной, хотя многие по-прежнему придерживаются найденного основоположниками волновой теории Лином и Шу значения скорости спирального узора в Галактике в 13 (км/с)/кпк .

Вспомним еще раз услуги, которые галактика Андромеды оказала астрономии: само доказательство существования мира галактик, калибровка шкалы расстояний во Вселенной (приведшая к обнаружению ее расширения), концепция двух типов звездных населений, обнаружение концентрации в спиральных рукавах пыли, водорода (атомарного и молекулярного) и звезд высокой светимости. Если бы не столь малый угол наклона М 31 к лучу зрения, проблема спиральной структуры, наверно, уже была бы полностью решена при исследовании этой галактики (рис. 13.11).

Мы видели, однако, что несмотря на это невезение, структура рукавов поддается исследованию; совместное использование данных оптической и радиоастрономии и возможность учета при этом искривлений плоскости М 31 (которые вносят наибольшую неопределенность при попытках расшифровки ее структуры) открывают хорошие перспективы.

ГАЛАКТИКИ БЛИЗКИЕ И ДАЛЕКИЕ

Я не знаю более волнующей, более яркой картины биологической реальности ноогенеза, чем картина разума, стремящегося со времени своего возникновения — преодолеть стискивающую иллюзию близости.

Пьер Тейяр де Шарден

Началась новая эра в развитии науки, в которой астрофизике будет принадлежать ключевое положение.

Лев Андреевич Арцимович

Туманность Андромеды и наша собственная Галактика — наиболее яркие и массивные члены небольшого скопления галактик, насчитывающего около 30 членов и известного под названием Местной группы. В этих двух системах заключено 90 % общей массы скопления. Две трети членов Местной группы — карликовые эллиптические галактики вроде четырех спутников М 31 и систем в Скульпторе и Печи. В нее входит также небольшая спиральная галактика М 33 в Треугольнике (рис. 14.1), и несколько неправильных галактик — Магеллановы Облака, NGC 6822, IC 1613 и другие. Число карликовых галактик в Местной группе может быть значительно больше: несколько новых спутников М 31 — систем типа Скульптора было обнаружено не так давно. Много может быть и крошечных систем, напоминающих заброшенные в межгалактическое пространство звездные комплексы. Исследование этих малоизвестных и загадочных галактик только начинается. Диапазон светимостей «признанных» галактик Местной группы — от -20^m (М 31) до -9^m (пекулярная эллиптическая галактика Лев II); как и в мире звезд, подавляющее большинство населения Вселенной — карликовые галактики, а видимое преобладание гигантов объясняется лишь их большой яркостью.

В Местной группе не представлены, к сожалению, гигантские эллиптические галактики и пересеченные спирали (если, конечно, не считать нашу собственную Галактику), и детали их строения приходится изучать по образцам, имеющимся в соседних скоплениях.

На окраине Местной группы находится IC 10, неправильная галактика в Кассиопее, находящаяся недалеко от плоскости Млечного Пути. Бааде описывает ее как явный кусок спиральной ветви с тремя областями H II.

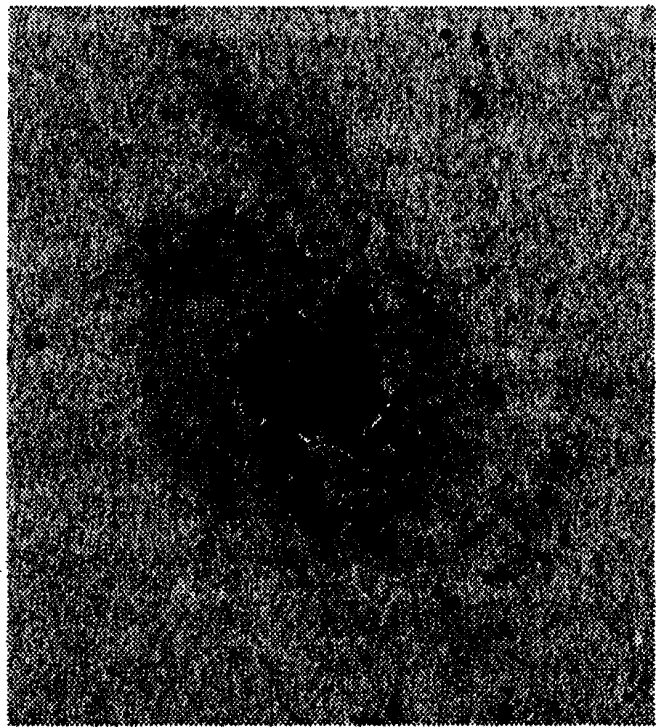


Рис. 14.1. Хаотический вид спиральных рукавов туманности Треугольника (М 33), состоящих из отдельных обрывков, свидетельствует о том, что волна плотности играет незначительную роль в их образовании. В отличие от нашей Галактики и М 31, здесь молодые звезды высокой светимости, газ и пыль встречаются вплоть до самого центра

Слабые галактики вокруг IC 10 отсутствуют, что указывает на сильное поглощение, как и должно быть для низких галактических широт. «Здесь, — говорит Бааде, — должно быть, дыра, сквозь которую виден как раз этот кусок спиральной ветви». Ясно, что сильное поглощение в пределах зоны избегания может полностью загородить от нас и близкую галактику.

В 1970 г. группа калифорнийских астрономов во главе с Г. Спинрадом пришла к заключению, что два компактных инфракрасных объекта, обнаруженных в 1968 г. П. Маффеем в Кассиопее, являются центральными областями довольно близких галактик, просвечивающими сквозь мощную пылевую толщу в плоскости Млечного Пути. Объект Маффей I как раз и может быть той гигантской эллиптической галактикой, которой нам так не хватало в Местной группе. Правда, проку от столь сильно «поглощенной» галактики меньше, чем хотелось бы, потому что детальное ее изучение в оптическом диапазоне невозможно.

Жерар де Вокулёр, чей план Местной группы галактик воспроизведен на рис. 14.2, отмечает, что оба объекта Маффей вместе с IC 10 образуют отчетливо выраженную подгруппу. Две другие подгруппы галактик концентрируются вокруг М 31 и нашей собственной Галактики, а от IC 342 до системы WLM (Вольфа—Лундмарка—Мелота) тянется почти прямолинейная цепочка галактик. Эта цепочка является связующим звеном между Местной группой и группой М 81, которая в свою очередь тянется в направлении скопления галактик в созвездии Девы. Такая филаментарная структура типична для распределения галактик во всей наблюдаемой Вселенной.

* * *

Галактики Местной группы, ввиду их близости, служат испытательным полигоном методов определения шкалы расстояний во Вселенной. Во всех из них, где хорошо представлены звезды населения I, открыты и изучены цефеиды, но, кроме бара БМО, до полноты еще очень далеко. Даже в галактике Андромеды остаются неисследованными большие участки спиральных рукавов, хотя команда польских астрономов, спустя почти

40 лет после Бааде, продолжила исследования переменных звезд в М 31. Конечно, даже по десятку цефеид можно оценить расстояние галактики, однако зависимость «период—светимость» обладает заметной истинной дисперсией (в добавление к разбросу, вызванному различием поглощения внутри исследуемой галактики), и до сих пор нет уверенности в том, что ее наклон одинаков в разных галактиках. Этот наклон и даже светимость цефеид одного периода могут несколько зависеть от химического состава — содержания тяжелых элементов, которое меньше на окраинах галактик и в галактиках меньшей массы.

В самом деле, если нуль-пункт или наклон зависимости «период—светимость» (П—С) заметно изменяются от галактики к галактике, цефеиды не оправдывают названия самых важных звезд. Но чтобы выяснить это, необходимы надежные расстояния, определенные без их помощи, и эта задача является очень трудной.

Наиболее точными расстояниями, определенными без помощи цефеид, надо считать расстояния Магеллановых Облаков и М 31, определяемые по звездам типа RR Лир. Светимость этих звезд можно определить по их средним параллаксам, получаемым из собственных движений, и по расстояниям шаровых скоплений, в состав которых они часто входят. Первый способ существенно точнее, теперь можно использовать и результаты определения тригонометрических параллакс-

сов с помощью спутника «Гиппаркос». Оказывается, что звезды типа RR дают для БМО модуль расстояния $18^m,3$, а цефеиды, по мнению большинства астрономов, $18^m,5$. Возможно, светимость цефеид в БМО несколько меньше, чем в Галактике, вследствие меньшего содержания тяжелых элементов. Однако зависимость П—С, полученная Л. Н. Бердниковым и др., также дает модуль расстояния БМО в $18,3$, и возможно, что причина отличий состоит в разных значениях расстояний скоплений Галактики, по которым калибруется светимость цефеид — согласно зависимости Бердникова, светимость цефеид надо сделать на $0^m,2$ меньше.

Возможна и другая причина. Существует возможность определения расстояний до затменных переменных звезд, для которых имеется многоцветная фотометрия и спектральные данные. Имея кривые блеска и лучевых скоростей, можно определить массу, параметры орбиты (включая

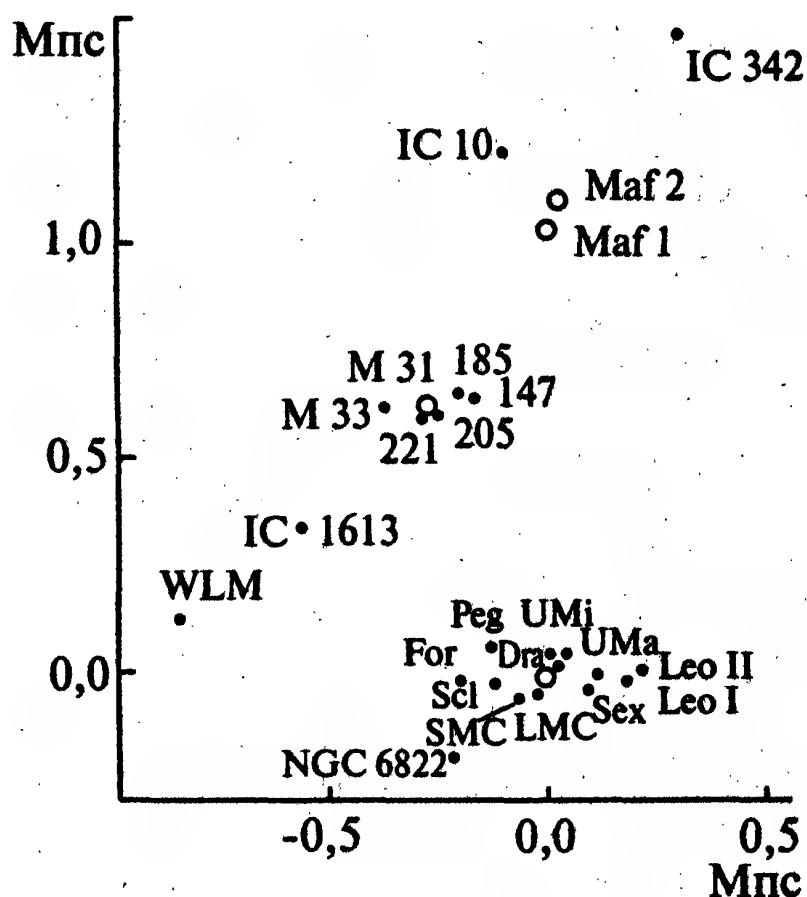


Рис. 14.2. План Местной группы галактик, построенный Ж. де Вокулёром. Принадлежность к ней IC 342, объектов Маффея и IC 10 нуждается в подтверждении. Наша Галактика (справа внизу) и галактика Андромеды, а также галактики Маффея обозначены кружками

ее линейные размеры) и относительный радиус компонентов. Из этих данных можно оценить расстояние. Здесь тоже много подводных камней, но это полностью независимый способ. Пока в БМО эти данные получены только для двух звезд. Для одной из них, близ центра БМО, в 2002 г. определено расстояние в 46 кпк, а для другой — в 51 кпк. Это почти точно соответствует модулям расстояния в $18^m,3$ и $18^m,5$. Большинство авторов считает, что глубина БМО по лучу зрения пренебрежимо мала, но это мнение может быть ошибочным.

Вопрос важен, потому что значение модуля расстояния БМО в $18^m,5$ принято как исходное в цикле работ, посвященных определению постоянной Хаббла по данным о цефеидах в далеких галактиках, полученным с помощью Космического телескопа им. Хаббла. Похоже, что исключить возможность ошибки в $0^m,2$ мы сумеем еще нескоро. Заметим, однако, что расстояние спиральной галактики NGC 4258, определенное сравнением лучевых скоростей и собственных движений имеющихся в ней мощных мазерных источников, и блеск найденных в ней цефеид соответствуют модулю расстояния БМО в $18^m,3$.

Еще одним индикатором расстояний являются Новые звезды. Расстояния их можно определить по скорости расширения сбрасываемой во время вспышки оболочки или по угловой скорости распространения световой волны вспышки в окружающих некоторые звезды темных туманностях. Это дает возможность оценить их светимость в максимуме блеска: она оказывается тем выше, чем быстрее спадает блеск после вспышки. Ярчайшие Новые звезды в нашей Галактике имели в максимуме $M_{\text{фот}} = -9^m,0$, а две ярчайшие новые в М 31, также в максимуме, имели $m_{\text{фот}} = 15^m,7$. Исправление за поглощение дает блеск $15^m,1$, и отсюда модуль расстояния М 31 составляет $24^m,1$, что практически совпадает с модулем $24^m,2$, найденным по цефеидам. Калибровка светимости новых звезд совершенно не связана со светимостью цефеид, и это согласие должно означать, что большая ошибка в наших данных маловероятна.

Новые звезды позволяют уйти дальше цефеид, потому что они на 2–3 величины ярче в максимуме блеска, чем самые яркие цефеиды. Но для их обнаружения необходимо систематическое фотографирование галактик. К тому же они очень редки в спиральных типа Sc, наподобие М 33, и в неправильных галактиках.

Практически более важным индикатором расстояния, которым широко пользовался Хаббл, являются поэтому ярчайшие сверхгиганты. Более уверенные результаты дают красные сверхгиганты, поскольку среди голубых могут быть и компактные скопления. В последние годы метод сверхгигантов был широко использован И. Д. Караченцевым и его сотрудниками для массового определения расстояний близких галактик. Действительно, достаточно получить пару изображений галактики в В и V полосах, чтобы выделить ярчайшие голубые и красные звезды и по их блеску определить расстояние — предельная светимость тех и других во всех галактиках примерно одинакова. Однако трудность состоит в том,

что все методы, основанные на экстремальных характеристиках каких-то объектов, требуют для своего уверенного применения достаточно большого их количества: рост самого высокого солдата может сильно отличаться от взвода к взводу, но можно быть уверенным в том, что в разных полках он будет практически одинаков. И конечно, нужна уверенность в универсальности функции распределения соответствующего параметра.

Существует еще много других методов, но они менее точны и часто более трудоемки в применении. Оценить расстояние можно, например, исходя из блеска самого яркого шарового скопления или планетарной туманности, а также из диаметра наибольшей области H II. Особо надо отметить метод Талли—Фишера, которые предложили в 1977 г. использовать корреляцию между шириной линии H I и светимостью спиральной галактики. Определяемый по ширине линии 21 см диапазон скоростей газа задается, очевидно, наибольшей скоростью вращения галактики, зависящей от ее массы, с которой хорошо коррелирует светимость галактики. Метод годится в том числе для весьма далеких галактик, лишь бы можно было определить ее интегральную видимую величину и ширину линии 21 см. Между прочим, идея этого метода восходит к способу, которым Э. Эпик определил в 1922 г. расстояние туманности Андромеды по скорости ее вращения, еще до открытия в ней цефеид.

Еще не так давно цефеиды можно было измерять не дальше, чем для галактик группы M 81. Расстояние спиральной галактики NGC 2403 — 3,25 Мпк долгое время оставалось наибольшим расстоянием, измеренным непосредственно с помощью цефеид. Его получили в 1968 г. Г. Тамман и А. Сендидж на основании изучения 182 снимков галактики, из которых первый был получен еще Джорджем Ричи в 1910 г. Было найдено 17 цефеид, 8 переменных голубых сверхгигантов, 17 красных переменных сверхгигантов, похожих на звезды η и χ Персея, одна затменная типа β Лиры. Еще 16 звезд слабее $22^m,5$ в максимуме наверняка также являются цефеидами. Оказалось, что модули расстояния, определенные по цефеидам, ярчайшим звездам и областям H II, отличаются от среднего значения ($27^m,55$) не более чем на $\pm 0,2$. Это означает, что характеристики индикаторов расстояния, определенные по данным о галактиках Местной группы, не изменяются и при выходе за ее пределы. Очевидно, можно считать, что если характеристики цефеид в разных галактиках и отличаются, то достаточно мало.

На этом разумном предположении была основана одна из ключевых задач Хаббловского космического телескопа — поиски и изучение цефеид в галактиках, расположенных достаточно далеко для того, чтобы можно было из полученных расстояний определить скорость расширения Вселенной. Исходными были данные о зависимости «период—светимость» для БМО, модуль расстояния которого принимался равным $18^m,5$. Но это уже другая тема.

* * *

Вернемся к вопросу о распределении галактик в пространстве. Существует замечательная корреляция между строением скоплений галактик и типом преобладающих в них галактик. В неправильных, слабо концентрирующихся к центру скоплениях, которые обычно не бывают очень богаты, преобладают спиральные галактики; много там и неправильных систем. Правильные скопления имеют сферическую форму и показывают сильную концентрацию к центру скопления; в них преобладают эллиптические галактики и галактики S0 (рис. 14.3).

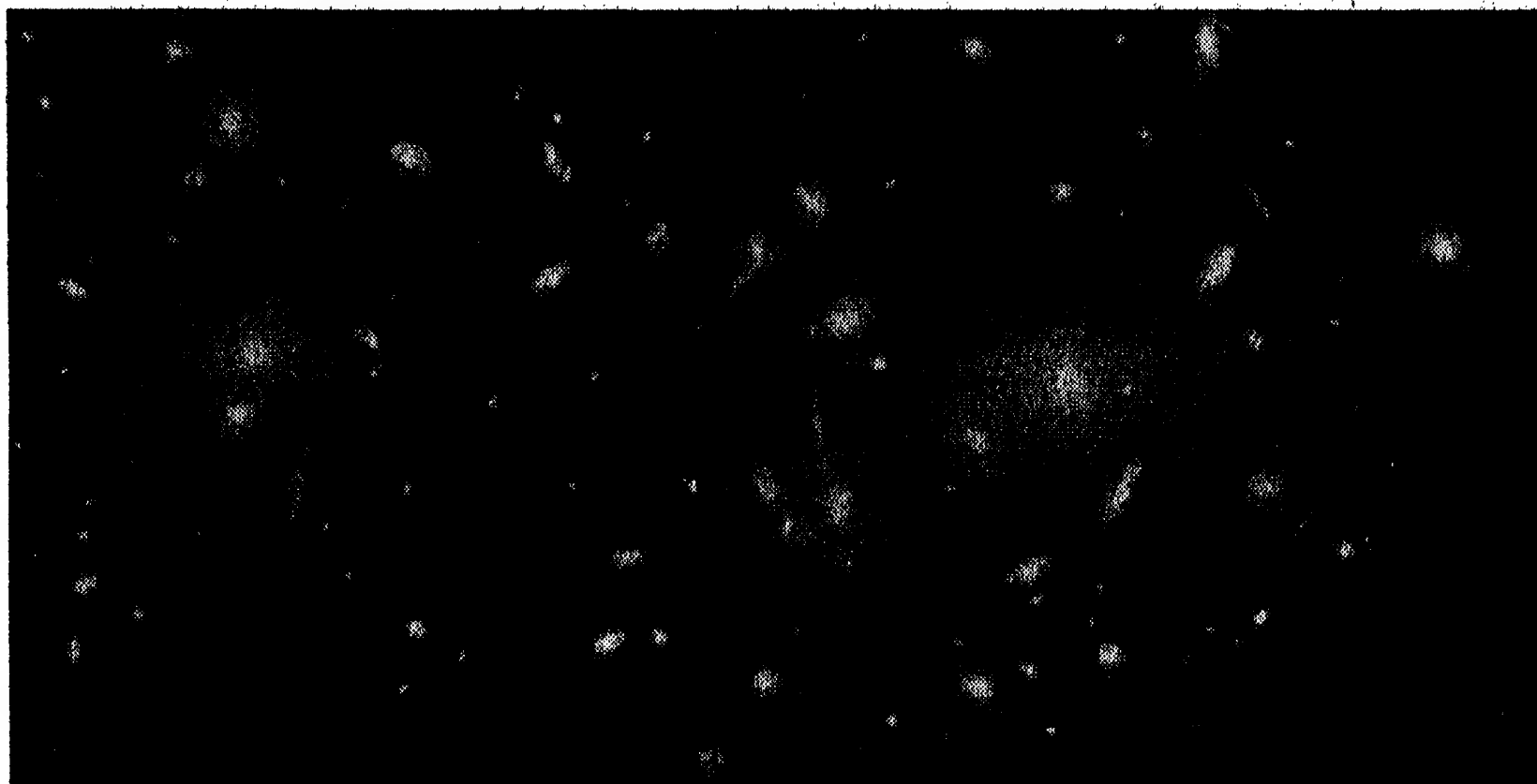


Рис. 14.3. Скопление галактик Abell 2218. Массивные галактики скопления служат гравитационными линзами, которые вытягивают в дуги изображения более далеких галактик. Изображение получено на HST

Бросается в глаза аналогия между звездными скоплениями и скоплениями галактик: классические шаровые звездные скопления состоят из звезд населения II, в правильные скопления входят галактики, состоящие из звезд населения II; неправильные скопления галактик похожи по структуре на рассеянные звездные скопления, а входящие в них галактики в изобилии содержат звезды населения I, из которых состоят рассеянные скопления. Объяснение этой закономерности — одна из важнейших задач всех гипотез образования галактик.

Еще более важной является проблема крупномасштабной структуры в распределении галактик. Скопления галактик образуют как бы стенки гигантских полостей, войдов, внутри которых галактики почти отсутствуют; в проекции на небосвод они образуют широкие цепочки, на пересечении которых находятся скопления скоплений — называемые обычно сверхскоплениями (рис. 14.4). Задача объяснения происхождения этой структуры — да и самих галактик — еще далека от решения. Это часть великой космологической проблемы, о которой будет речь в главе 17.

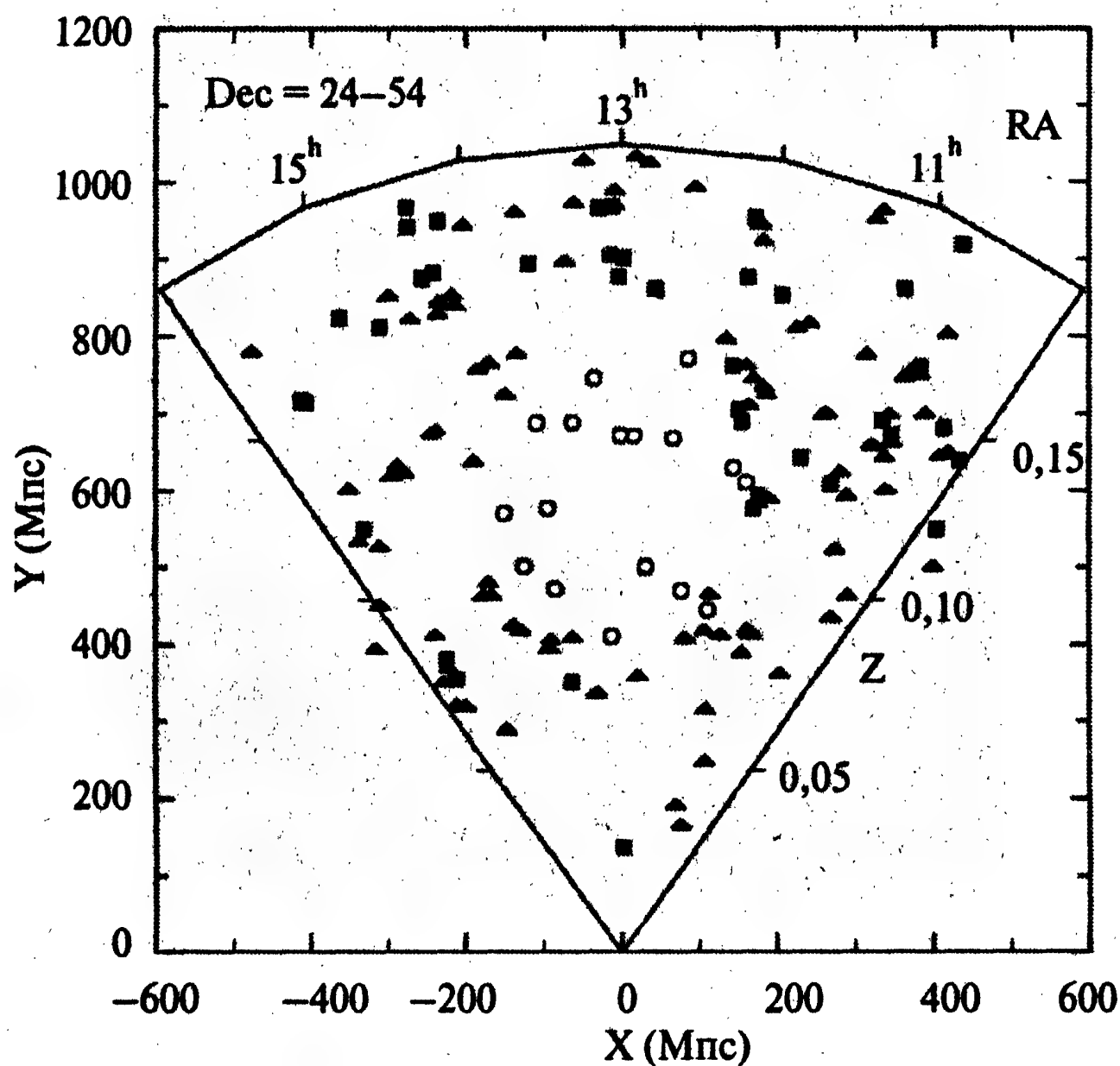


Рис. 14.4. Карта одного из наибольших войдов размером около 300 Мпк. Зачерненные символы означают скопления галактик, кружки — скопления, у которых были измерены красные смещения на 6-метровом телескопе с целью поиска движений, направленных от центра войда (их не оказалось). Их отсутствие накладывает ограничения на долю гравитирующего вещества во Вселенной. Рисунок взят из работы А. И. Копылова и Ф. Г. Копыловой

Многие астрономы полагают, что галактики образуются из «строительных блоков» с характерной массой всего лишь в миллионы солнечных; признаки этого усматривают в морфологии многих предельно далеких (и следовательно, молодых) галактик, видимых на максимально глубоких изображениях, полученных на Хаббловском телескопе с многочасовыми экспозициями (рис. 14.5).

Возможно, что эти строительные блоки ближе к нам представлены компактными карликовыми галактиками с активным звездообразованием. В некоторых из них нет звезд с возрастом более миллиарда лет и необычно низкое для молодых объектов содержание тяжелых элементов. Дело выглядит таким образом, как если бы звездообразование в породивших эти галактики межгалактических облаках водорода началось относительно недавно. Что же касается обычных галактик, возраст их старейших объектов — и значит, самих галактик — практически одинаков и составляет, по последним оценкам, около 12–14 млрд лет. Речь идет о шаровых скоплениях, возраст которых уверенно оценивается на основе теории звездной эволюции. Характерными членами этих скоплений

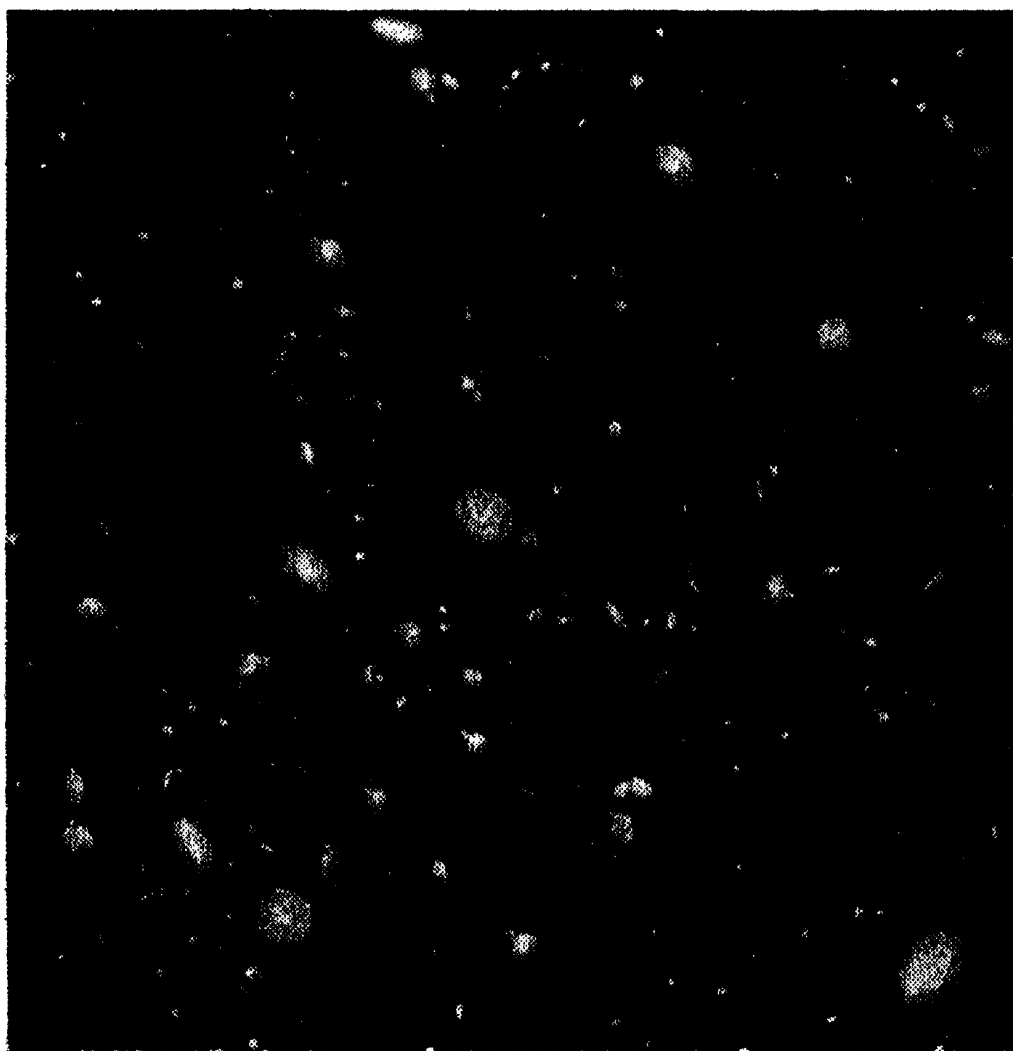


Рис. 14.5. Южное глубокое поле Хаббловского космического телескопа обнаруживает галактики с формой, редко встречающейся поблизости от нас

являются переменные звезды типа RR Лир. Поэтому остается в силе утверждение Вальтера Бааде, что поскольку во всех галактиках Местной группы эти звезды обнаруживаются, а наше место во Вселенной не должно быть ничем выделено, возраст всех галактик примерно одинаков.

Упомянутые выше компактные галактики с активным звездообразованием, возможно, являются исключением. Некоторые из них могут быть осколками, продуктом приливного взаимодействия больших галактик, и тогда в них присутствуют старые звезды и тяжелые элементы, однако многие находятся в изоляции, в том числе в войдах. Означает ли это, что некоторые протогалактические газовые облака по каким-то причинам в течение миллиардов лет живут, не производя на свет звезды?

* * *

Надо сказать, что над всеми теориями происхождения галактик тяготеет великое неизвестное — масса, заключенная в барионах, излучение которой мы способны наблюдать с нашими телескопами, составляет всего лишь 4–5 % от полной массы (или как говорят физики, плотности энергии) во Вселенной. Правда, 70 % ее никак не участвует в деле строительства галактик, но остальные 25–26 % (называемые холодной темной материей) подвержены гравитации и должны определять ход дела (см. главу 17); жаркие споры о невидимом продолжаются не стихая. Природа этой материи неизвестна, это могут быть и черные дыры с самыми разными массами (от четырех масс Солнца до миллиардов), а могут быть

и слабо взаимодействующие элементарные частицы, которые физики пока тщетно пытаются уловить.

Критически важным является вопрос о том, как это вещество распределено в пространстве. Пока ясно только, что оно имеется в скоплениях галактик и вокруг многих — но не всех (почему?) галактик. Не образует ли оно также сгущений, не связанных с видимой материей? Единственным (пока?) способом приблизиться к решению проблемы являются поиски искажений в форме изображений далеких галактик и квазаров, обусловленных влиянием концентраций невидимого вещества, действующих как гравитационные линзы. Для этого планируется создание специального телескопа с зеркалом в 8,4 м и полем зрения в 3° . Математическая обработка изображений галактик до 28-й величины позволит создать карту распределения темной гравитирующей материи по небу. Уже работают большие телескопы, специально ориентированные на измерения красных смещений (и значит, расстояний) многих миллионов галактик. Великая теория Эйнштейна, предсказавшего, в частности, искривление луча света при прохождении близ больших масс, продолжает работу...

Телескопы превратились теперь в инструменты не только астрономического, но и физического исследования. В 1972 г. в журнале «Природа» появилась статья Л. А. Арцимовича «Будущее принадлежит астрофизике», которой суждено было стать его научным завещанием. Он говорил о том, что потомки будут удивляться странной пропорции, в которой мы разделили средства, предназначенные для исследования мира элементарных частиц и огромного мира галактик. Вслед за этой статьей должна была появиться моя статья, озаглавленная «Нужны большие телескопы». Но в начале 1973 г. Л. А. Арцимович умер и набор моей статьи был рассыпан. Прав оказался И. М. Копылов, первый директор САО (Специальной астрофизической обсерватории, где установлен 6-м телескоп), который сказал, прочитав ее рукопись, что статья совершенно правильная и поэтому никогда и нигде не будет опубликована... По-видимому, менее дальновидные физики боялись, что агитация за большие телескопы приведет к оттоку средств от ускорителей и реакторов.

Теперь, кажется, уже все понимают, что физика уперлась в тупик, выйти из которого можно только с помощью телескопов. Астрономия на наших глазах превращается в большую науку, повторяя путь, начатый ядерной физикой и физикой элементарных частиц лет 60 назад и получая (и на западе, и на востоке, и на юге от границ России) соответствующее финансирование. Коллективы, публикующие работы по астрофизике высоких энергий и космологии, часто насчитывают несколько десятков соавторов, подобно статьям, порожденным столкновениями элементарных частиц в ускорителях.

Конечно, это не значит, что физики могут закрывать свое дело, просто все больше проблем становятся воистину едиными для физики и астрофизики, как это давно имеет место, скажем, в исследованиях космических лучей, элементарных частиц, приходящих на Землю от остатков сверхновых, а может быть, и от ядер галактик и квазаров. Как отмечает

В. Л. Гинзбург, протоны в космических лучах иногда могут иметь энергию, в 30 раз превышающую ту, которая лишь к 2007 г. будет достигнута в сталкивающихся пучках на Большом адронном коллайдере, строящемся в ЦЕРНе. Старая проблема происхождения космических частиц сверхвысоких энергий по-прежнему волнует и физиков, и астрономов.

Возникает вопрос — как же можно рассуждать о происхождении галактик, если выясняется, что менее 1 % массы во Вселенной заключено в звездах, 4 % — в газе, в основном межгалактическом, а 95 % — вообще неизвестно в чем? В некотором смысле ситуация подобна — жалким, как нам кажется сейчас — попыткам решения проблемы источников энергии звезд до открытия внутриядерной энергии. Однако астрономические наблюдения, несомненно, уже сейчас приближают нас к решению вопроса.

КВАЗАРЫ И ЯДРА ГАЛАКТИК

Всякая доктрина проходит три этапа: сначала ее атакуют, объявляя абсурдной, потом допускают, что она справедлива, но незначительна. Признают, наконец, ее истинную важность, и тогда ее противники оспаривают честь ее открытия.

Вильям Джеймс

Определение весомости аргументов в теоретических вещах остается все же делом интуиции.

Альберт Эйнштейн

Весной 1963 г. астрономы решили, что обнаружен целый новый класс космических объектов. Открытие было тем более удивительным, что на многих обсерваториях мира с конца XIX века хранились пластинки, на которых нетрудно было увидеть ярчайшие из этих объектов.

Предпосылкой открытия квазаров послужила увеличившаяся разрешающая способность радиотелескопов. Долгие годы точность определения координат и угловых размеров объектов, изучающих радиоволны, была очень невелика. Однако в 1970-х гг. техника преодолела эти преграды, и сейчас радиотелескопы могут работать синхронно на противоположных концах земного шара и образуют интерферометры с базисом в десятки тысяч километров. Их разрешающая сила на три порядка превосходит возможности наземных оптических телескопов.

История квазаров начинается с 1960 г., когда две 27-метровые антенны Калифорнийского технологического института в долине Оуэнс, составляющие в паре друг с другом радиоинтерферометр, начали измерения координат источников радиоизлучения, внесенных в Третий Кембриджский каталог (3C). Точность определения координат достигла $\pm 5''$ и было обнаружено, что некоторые источники имеют очень малые угловые размеры.

26 сентября 1960 г. Т. Метьюз и А. Сендидж сфотографировали на 200-дюймовом телескопе область неба, содержащую один из таких источников — 3C 48. К их удивлению, в пределах прямоугольника ошибок координат в этой области не было никаких объектов, кроме звезды 16^m, 2V. Правда, вокруг были следы слабой небольшой туманности,

но объект выглядел безусловно звездообразным. Сомнения в возможности отождествления источника радиоизлучения со звездой исчезли 22 октября 1960 г., когда Сендидж получил спектр объекта. В нем оказалась необычная комбинация широких эмиссионных линий, не поддававшаяся идентификации. Показатели цвета 3С 48 также были необычны: Сендидж нашел, что они соответствуют горячим белым карликам и бывшим Новым звездам — очень горячим объектам с ультрафиолетовым избытком.

В декабре 1960 г. Сендидж сообщил о результатах первых оптических наблюдений 3С 48 на 107 заседании Американского астрономического общества. Проверая гипотезу, по которой 3С 48 является звездным остатком вспышки Новой или даже Сверхновой («первой настоящей радиозвездой»), Х. Смит и Д. Хоффлейт просмотрели коллекцию пластинок Гарвардской службы неба за 1897–1958 гг. и не обнаружили сколько-нибудь заметных, превышающих $0^m,3$, колебаний блеска объекта, частых у бывших новых звезд. Наиболее вероятным казалось, что это нейтронная звезда — остаток сверхновой звезды. В китайских летописях нашли даже «звезду-гостью», вспыхнувшую в 1688 г. не далее как в 10° от 3С 48...

* * *

В. Бааде и Ф. Цвикки, выделяя в 1934 г. Сверхновые звезды в особый класс объектов, намного превышающих по светимости в максимуме блеска (в котором они не уступают иногда целой галактике!) Новые звезды, впервые предположили, что после вспышки Сверхновые превращаются в сверхплотные тела — нейтронные звезды чудовищной плотности и очень небольших размеров. Несколько позже физики Л. Д. Ландау, а также Р. Оппенгеймер и Г. Волков теоретически подтвердили возможность существования нейтронных звезд. И встречая какие-либо пекулярные объекты, астрономы более тридцати лет пытались прежде всего отождествить их с предсказанными теорией нейтронными звездами.

Ими оказались пульсары, неожиданно открытые в 1967 г. Руководитель работы английский радиоастроном Э. Хьюиш получил за это Нобелевскую премию. Однако аспирантка Дж. Белл, которая первой заметила на регистрограммах радиотелескопа короткие всплески, повторяющиеся через немногие секунды и доли секунд, этой чести не была удостоена, и злые языки стали говорить, что Хьюиш получил премию Ноубелл... Говорят также, что великий астрофизик Фред Хойл так и не получил Нобелевской премии именно из-за его статьи с протестом против такого решения Нобелевского комитета.

Никто не ожидал найти столь правильно (пульсары скоро стали самыми точными астрономическими часами) и быстро вспыхивающие объекты. Открытие стало возможным потому, что Хьюиш поставил задачу изучения быстрых колебаний интенсивности излучения — своего рода мерцания — радиоисточников, возникающих вследствие прохождения радиолуча через флуктуации плотности околосолнечной и межзвездной среды. Для этой цели и была впервые создана аппаратура, способная заметить

очень быстрые колебания радиопотока. В течение полугода обнаружение пульсаров держалось в строгом секрете. На это раз, в отличие от гамма-источников,

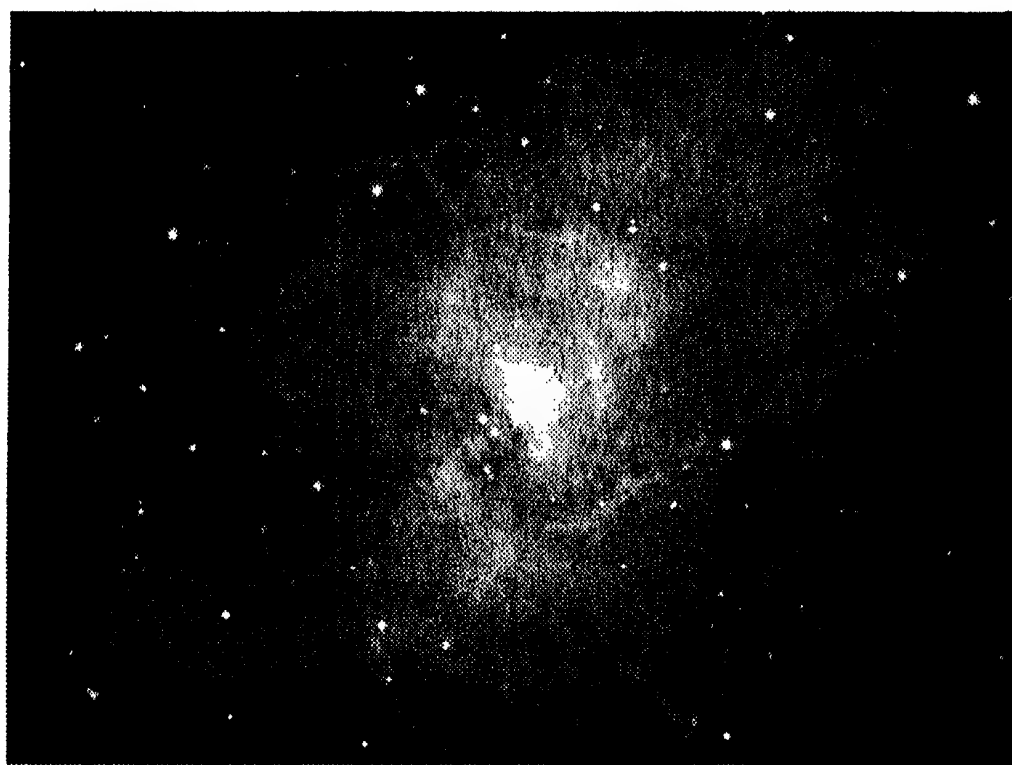


Рис. 15.1а. Крабо-видная туманность — газовый остаток Сверхновой 1054 г. Одна из двух звездочек в центре — нейтронная звезда — пульсар, звездный остаток вспышки. Изображение получил Дж. Галлахер на 3,5-метровом телескопе. АКД 11 июля 2000 г.

подозревались не Советы, а внеземные цивилизации — столь неестественно строго выдерживалась периодичность радиоимпульсов.

Однако уже в 1968 г. периодические всплески в радиодиапазоне с интервалом в немногие секунды и доли секунд и другие характеристики пульсаров объяснились вращением сверхплотного тела очень небольших размеров, все параметры которого соответствовали предсказанным у нейтронных звезд — за исключением мощного направленного радиоизлучения, которое вырывается из магнитных полюсов звезды, не совпадающих с полюсами вращения. Только это свойство отсутствовало в модели нейтронной звезды, предложенной Н. С. Кардашевым для объяснения особенностей Крабо-видной туманности за несколько лет до открытия пульсаров. Обнаружение вспышек и в оптическом диапазоне у голубой звезды 16^m в центре Крабо-видной туманности (которую Бааде и Минковский еще в 1942 г. считали остатком вспышки Сверхновой 1054 г.) окончательно доказало, что пульсары действительно являются остатком вспышек Сверхновых звезд. Звезда в центре Краба вспыхивает примерно каждые три сотые доли секунды — чуть пореже, и ее миганье можно было бы заметить и глазом! Наблюдения в рентгеновском диапазоне на космическом телескопе «Чандра» показали весьма сложную картину — джет, истекающий

Однако уже в 1968 г. периодические всплески в радиодиапазоне с интервалом в немногие секунды и доли секунд и другие характеристики пульсаров объяснились вращением сверхплотного тела очень небольших размеров, все параметры которого соответствовали предсказанным у нейтронных

звезд — за исключением мощного направленного радиоизлучения, которое вырывается из магнитных полюсов звезды, не совпадающих с полюсами вращения. Только это свойство отсутствовало в модели нейтронной звезды, предложенной Н. С. Кардашевым для объяснения особенностей Крабо-видной туманности за несколько лет до открытия пульсаров. Обнаружение вспышек и в оптическом диапазоне у голубой звезды 16^m в центре Крабо-видной туманности (которую Бааде и Минковский еще в 1942 г. считали остатком вспышки Сверхновой 1054 г.) окончательно доказало, что пульсары действительно являются остатком вспышек Сверхновых звезд. Звезда в центре Краба вспыхивает примерно каждые три сотые доли секунды — чуть пореже, и ее миганье можно было бы заметить и глазом! Наблюдения в рентгеновском диапазоне на космическом телескопе «Чандра» показали весьма сложную картину — джет, истекающий

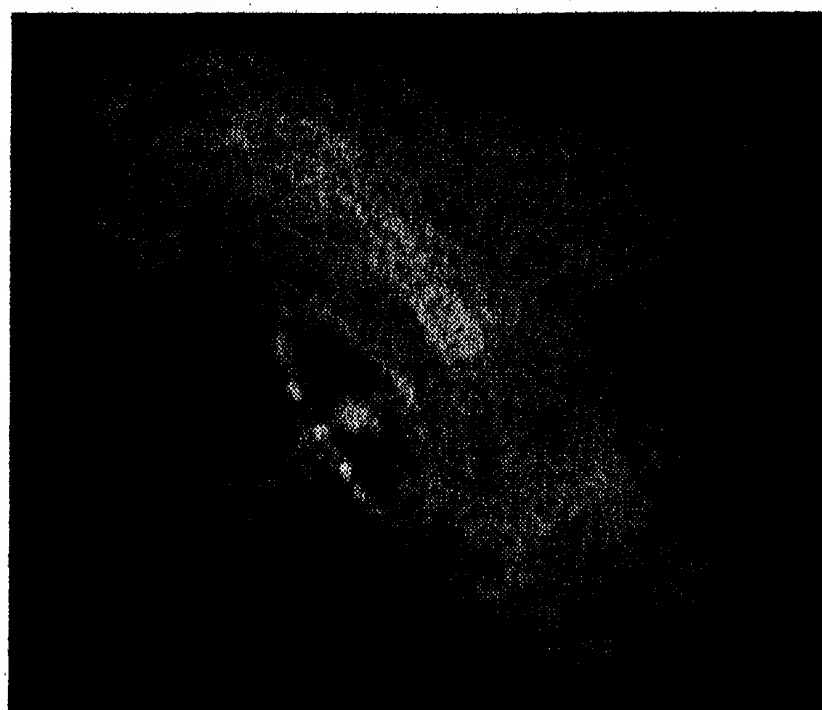


Рис. 15.1б. Центральная область Крабо-видной туманности в рентгеновских лучах. Изображение получено на рентгеновском спутнике «Чандра»

из пульсара, перпендикулярный ему диск, окружающая туманность, и все это дышит, изменяется со временем (рис. 15.1).

* * *

Но вернемся к нашим квазарам, которых в 1960 г. чуть было не приняли за грядущие пульсары. К 1962 г. Сендидж и Метьюз отождествили со звездообразными объектами источники радиоизлучения 3С 196 и 3С 286. Здесь, как и в случае 3С 48, единственным объектом, совпадающим в пределах ошибок координат с источником, была звезда 17^m ; показатели цвета были такими же, как и у первой «радиозвезды». Не поддающийся интерпретации спектр оставался загадкой, но кто знал, какой спектр может быть у остатка сверхновой! Ведь и интерпретация спектра самой вспышки сверхновой I типа тогда еще вызывала ожесточенные споры.

Решающим стал 1963 г., вошедший в историю астрономии. К этому времени К. Хазард, М. Маккей и А. Шиминс с рекордной для того времени точностью определили координаты источника радиоизлучения 3С 273, используя покрытие его Луной. Оказалось, что он двойной, с расстоянием между компонентами в $19''$ и диаметром каждого источника меньше $10''$. Они нашли, что один из компонентов источника совпадает со звездой 13^m . Молодой голландский астрофизик Маартен Шмидт на обсерватории Маунт Паломар получил спектр 3С 273, в котором опять оказались непонятные эмиссионные линии. Он-то и догадался, что эти линии можно отождествить с самой обычной бальмеровской водородной линией, если только допустить красное смещение, равное 0,158. 16 марта 1963 г. Шмидт послал записку об этом в «Нейчур». Но тогда эта «звезда» должна быть очень и очень далеко за пределами Галактики, а ее светимость в 100 раз больше, чем у гигантских галактик!

«Тем вечером, — вспоминал позднее Маартен Шмидт, — я пришел домой, не веря сам себе. „Нечто совершенно неправдоподобное случилось со мной сегодня“, — сказал я жене». Но правильность отождествления линий, предложенного Шмидтом, сразу же была доказана Дж. Оуком, который нашел в инфракрасном спектре 3С 273 линию H_α в точности на том месте, где она должна быть с предложенным Шмидтом значением красного смещения. Слово было произнесено, и теперь Т. Метьюз и Дж. Гринстейн легко отождествили линии в спектре 3С 48, для чего им пришлось допустить красное смещение $z = 0,367$.

В начале марта 1963 г. ГАИШ был взбудоражен препринтами этих работ, полученных И. С. Шкловским. По его совету А. С. Шаров и автор этих строк начали измерять блеск 3С 273 на пластинках Московской обсерватории, и первое же их сравнение со старым фотографическим атласом неба Вольфа—Пализы показало, что объект, без сомнения, изменяет блеск. Всего у нас нашлось с полсотни пластинок, полученных в 1896–1960 гг., и оказалось, что блеск объекта изменяется в пределах $12^m,0$ – $12^m,7$. 9 апреля 1963 г. мы направили сообщение об этом в Информационный бюллетень Комиссии переменных звезд Международного

астрономического союза, а вскоре получили препринт статьи Х. Смита и Д. Хоффлейт, посланный в «Нейчур» тоже 9 апреля. Они оценили около 600 пластинок, полученных в Гарварде с конца XIX века, и обнаружили изменения среднего блеска с амплитудой $0^m,6$ и циклом около 10 лет. Они нашли также и заметную переменность блеска в течение нескольких дней. Отсюда следовало, что и сам размер объекта должен быть порядка световых дней, точнее говоря, таковы должны быть размеры области, эффективно излучающей в оптическом диапазоне. Иначе колебания блеска, возникающие в разных частях объекта, осреднялись бы. Эта простая и бесспорная оценка верхнего предела размеров 3C 273 в нашей статье отсутствовала, но ее дал Ф. А. Цицин сразу же после нашего доклада об открытии переменности блеска этого объекта.

Метьюз и Сендидж написали статью об отождествлении со звездобразными объектами радиоисточников 3C 196 и 3C 286 еще в 1962 г., но они успели дать в корректуре примечание о внегалактической природе этих объектов. К концу года было известно девять объектов этого рода, а затем, когда стало ясно, по каким признакам их можно искать, хлынул поток открытий; к 1967 г. было найдено уже около 150 квазизвездных источников радиоизлучения (quasistellar radio source, QSS). Очень скоро их стали называть сокращенно квазарами; года два этот термин боролся с названием «сверхзвезда» (hyperstar) и победил его, ибо название «сверхзвезда» подразумевало определенную интерпретацию явления, с которой далеко не все соглашались...

Название «сверхзвезда» было дано Ф. Хойлом и В. Фаулером единому объекту с массой около 10^8 солнечных, который,

согласно выдвинутой ими гипотезе, может находиться в ядрах радиогалактик. Статья Хойла и Фаулера, написанная в 1962 г., вышла в свет почти одновременно с открытием квазаров, и некоторым казалось, что она описывает именно эти только что открытые объекты. Сверхмассивная звезда Хойла—Фаулера должна быстро сжиматься, и ее гравитационная

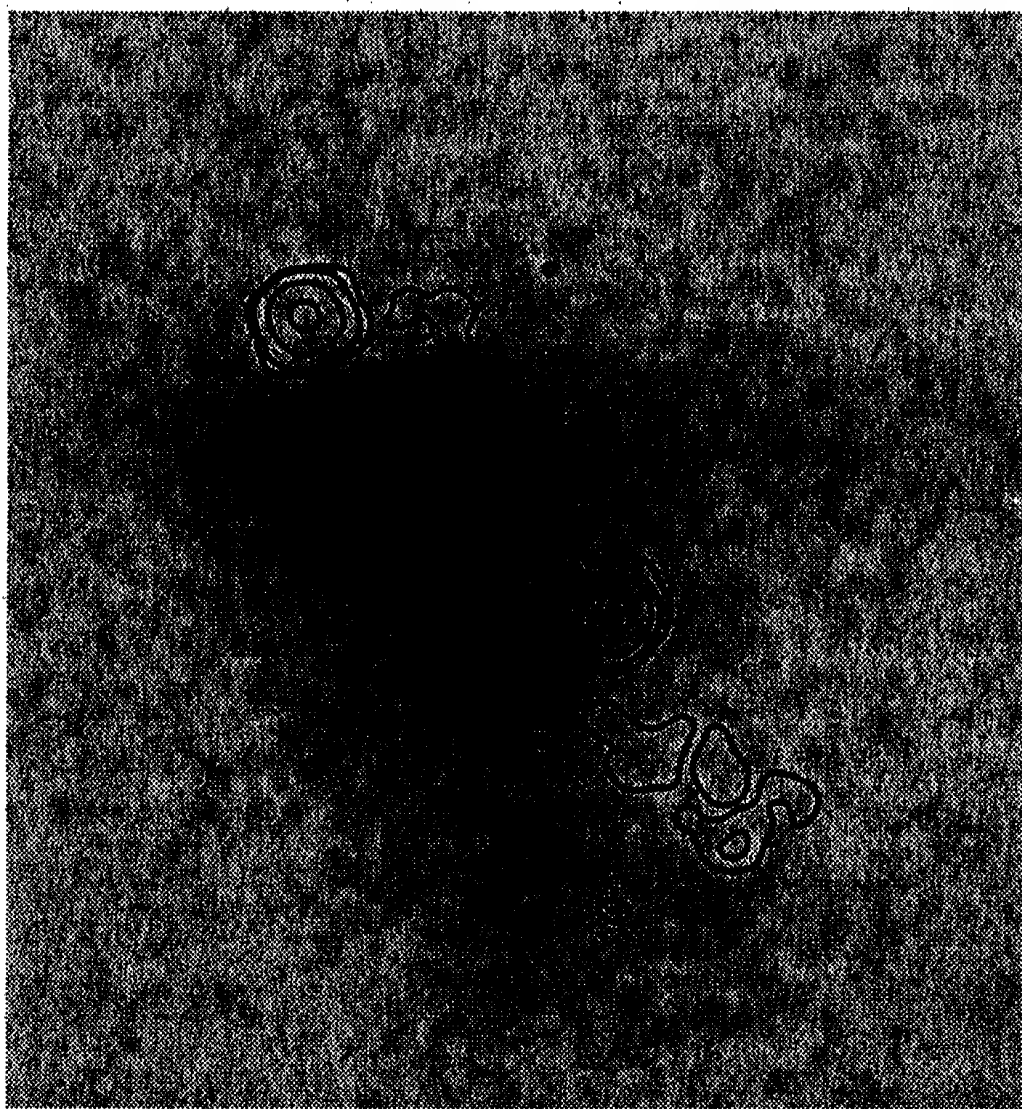


Рис. 15.2. Изображение квазара 3C 190 (полученное на 3,6-метровом телескопе), на которое наложены изолинии его радиоизлучения. Рисунок взят из работы А. Стоктона и С. Ригвей, 2001 г.

энергия, переходящая в излучение, предполагалась источником гигантской светимости квазаров. Эта гипотеза в ее первоначальной форме встретила с большими трудностями, но предположение, что сердцевина квазара — единое сверхмассивное замагниченное тело, магнитоид, жило еще несколько лет.

Итак, квазары — звездообразные объекты, являющиеся сильными источниками радиоизлучения, обладающие избытком излучения в ультрафиолетовой, и, как выяснилось позднее, инфракрасной области спектра, на которую приходится большая доля энергии, излучаемой квазарами (рис. 15.2). Спектр содержит широкие линии излучения, всегда сильно смещенные в красную сторону. Сейчас квазарами называют и объекты, не излучающие в радиодиапазоне; в последнем каталоге, вышедшем в 2001 г., насчитывается 23 760 квазаров. Большинство, а может быть, и все квазары изменяют блеск, у некоторых амплитуда доходит до 3^m и больше. У квазара 3C 279 амплитуда составляет почти 7^m и в максимуме блеска это самый яркий объект Вселенной, его $M_B = -31^m$,⁴! Таковы наблюдательные факты. Интерпретация их зависела прежде всего от того, на каких расстояниях находятся квазары.

Ключ к определению расстояний, казалось бы, должно дать красное смещение. Дж. Гринстейн и М. Шмидт в 1964 г. показали, что предположение о его гравитационной природе является почти невероятным, и во всяком случае квазары не могут быть сверхплотными звездами нашей Галактики — против этого говорит наличие запрещенных линий, образующихся лишь в условиях очень низкой плотности. Если эти линии возникают далеко от ядра квазара, где гравитационный потенциал меньше, то непонятно, почему у них такое же красное смещение, как и у разрешенных линий. Гринстейн и Шмидт пришли к выводу, что красное смещение является доплеровским и имеет космологическую природу — как и в спектрах галактик, оно обусловлено расширением Вселенной.

Тогда по красному смещению можно определить расстояние и светимость. Как мы уже говорили, квазары оказываются в десятки раз ярче даже сверхгигантских эллиптических галактик, мощность их излучения составляет $10^{45} - 10^{47}$ эрг/с. От этой трудности можно избавиться, если считать, что красное смещение — хотя и доплеровское, но не космологическое, т. е. отражает не расширение пространства, а движение в нем квазаров. Отсутствие квазаров с фиолетовым смещением в этом случае означает, что квазары выброшены из ядра нашей или, скорее, какой-нибудь близкой радиогалактики со следами взрывной активности ядра. Тогда их расстояние может быть порядка $10^6 - 10^7$ пк. Это в миллионы раз уменьшает количество излучаемой квазарами энергии, но в свою очередь требует объяснения их высокой кинетической энергии. Кроме того, вновь приходится думать, что наше положение в пространстве является избранным, на этот раз — что оно отмечено как центр разлета квазаров. Наконец, были и гипотезы, просто утверждающие, что красное смещение квазаров необъяснимо в рамках современной физики. Вопрос был бы ре-

шен, если б можно было определить расстояние хотя бы одного квазара, не прибегая к красному смещению.

Доказательством космологических расстояний квазаров было бы обнаружение их в скоплениях галактик с тем же значением красного смещения. Однако квазары на $2-5^m$ ярче даже самых ярких галактик скоплений, так что вокруг квазаров с большим красным смещением трудно увидеть скопление; после ряда попыток это удалось только в 1978 г.

Главным аргументом, убедившем почти всех астрономов в том, что красные смещения квазаров имеют космологическую природу, стало то, что многие их характеристики наблюдаются и у галактик; между квазарами и галактиками есть непрерывный переход. При поисках квазаров Сендидж обнаружил в 1965 г. много звездообразных объектов с сильным ультрафиолетовым избытком, не являющихся, однако, источниками радиоизлучения, и некоторые из них обладали заметным красным смещением. Сендидж назвал их квазизвездными галактиками. Многочисленные примеры компактных галактик были найдены М. Хьюмасоном, Ф. Цвикки, Г. Аро еще в 1950-х гг. Правда, красное смещение большинства этих объектов не более $z = 1$; светимости их существенно меньше, чем у квазаров.

Спектры квазаров похожи на спектры ядер сейфертовских галактик, у которых наблюдаются в ядерных областях широкие эмиссионные линии, указывающие на движение больших масс газа. Похоже и распределение энергии в спектре. Характеристики радиоизлучения и поляризации света квазаров и галактик мало отличаются друг от друга. Мощные потоки инфракрасного излучения наблюдаются как от квазаров, так и от ядер сейфертовских и радиогалактик. На сходство спектров сейфертовских галактик и квазаров указал И. С. Шкловский сразу же после их открытия; на этом пути и была решена проблема квазаров.

Важным указанием на единство природы квазаров и галактик явилось обнаружение в 1967 г. Дж. Оуком переменности блеска компактной радиогалактики 3C 371 с амплитудой около 2^m . Вскоре обнаружили переменность еще нескольких галактик с яркими ядрами и галактик Сейферта. Природа сейфертовских галактик не вызывала сомнений, и теперь стало ясно, что переменность блеска — не уникальное свойство квазаров, а свойство, присущее также галактикам с активным ядром. Конечно, изменяет блеск не вся гигантская галактика, не миллиарды ее звезд гаснут и вспыхивают по команде, а область ее ядра.

Понимание того, что квазары — это просто галактики с аномально активными ядрами, постепенно стало почти всеобщим. Уже в 1973 г. Дж. Кристиан обнаружил, что во всех случаях, когда, судя по красному смещению квазара, окружающую его галактику можно заметить при прямом фотографировании, она действительно видна, точнее говоря, в этих случаях квазар окружен на снимке туманным ореолом. Прямых доказательств, что этот ореол образуют звезды, не было до 1982 г., когда в «туманности», окружающей 3C 48, были обнаружены линии поглощения кальция, типичные для звезд класса A7. В 1978 г. в 13 из 25 случаев тесного соседства квазара со слабыми галактиками А. Стоктон нашел для

них одинаковое красное смещение — вероятность случайного совпадения не превышает одного шанса из миллиона!

Были получены также доказательства того, что квазары не могут находиться поблизости от нас. В спектрах многих квазаров с большим красным смещением, наряду с яркими эмиссионными линиями, по которым оно и определяется, наблюдаются и линии поглощения с меньшими красными смещениями. В спектрах некоторых квазаров наблюдаются сотни линий поглощения. Так, в спектре квазара OQ 172 найдено 175 линий поглощения, которые можно разделить на пять групп с $z = 3,066, 2,564, 3,094, 2,698$ и $2,691$; четыре системы линий поглощения выделено в OH 471 и две в 4C 05.34. У одного из наиболее далеких квазизвездных объектов, PHL 957, имеющего блеск $16^m,6$, для эмиссионных линий $z = 2,69$, а 80 линий поглощения распадаются на восемь групп, для которых z составляет от 2,0 до 2,7. Однако линии поглощения с меньшим z отсутствуют в спектрах тех квазаров, для которых эмиссионные линии дают сравнительно близкие расстояния. Это бесспорно говорит о том, что линии поглощения в спектрах квазаров с большим красным смещением образуются при прохождении их света сквозь более близкие (но слабые или несветящиеся, поскольку они не видны непосредственно) галактики, их обширные газовые короны или межгалактические облака газа, лежащие на том же луче зрения. По красному смещению, следовательно, можно судить о расстояниях квазаров.

* * *

Чем же обуславливается эта «активность» ядер, мощное и переменное энерговыделение из небольшой области ядра галактики, причем во многих диапазонах электромагнитного спектра? Приступ бурного звездообразования — обилие звезд высокой светимости и частые вспышки сверхновых — в малом объеме вблизи центра могут объяснить некоторые характеристики активных ядер галактик и их экстремальных разновидностей — квазаров, но накапливается все больше аргументов за то, что в них присутствует и сверхмассивная черная дыра, аккреция вещества на которую и служит источником чудовищной энергии квазаров.

Черной дырой называют замкнутую в себе область пространства, образовавшуюся в результате неограниченного гравитационного коллапса любой массы вещества. Согласно общей теории относительности уже звезда с массой, большей 3–4 солнечных, лишенная источников энергии, сжимается под действием собственного тяготения, которому ничто больше не противостоит, до размеров гравитационного радиуса $r_g = \frac{2GM}{c^2}$, после чего никакие сигналы, в том числе и фотоны, не могут выйти из нее наружу. Но черная дыра продолжает притягивать вещество, и стягивающийся к ней газ образует вращающийся вокруг нее диск, на который и происходит дальнейшая аккреция, в результате которой этот диск нагревается и гравитационная энергия переходит в энергию излучения.

Явления активности, наблюдаемые в активных ядрах галактик и в квазарах, на много порядков отличаются по выделяемой в них энергии, но они сходны между собой по морфологии (резкая концентрация светимости в области, не превышающей тысячные доли парсека в поперечнике, гигантские джеты, излучающие и в радиодиапазоне), по характеристикам спектра и переменности блеска (по скорости которой можно оценить верхнюю границу размеров). Почти все астрономы считают теперь, что

ответственной за все эти явления «центральной машиной» может быть вращающийся вокруг сверхмассивной черной дыры аккреционный диск, выбрасывающий «излишки» вещества в направлении оси вращения.

Вся картина может качественно напоминать наблюдающуюся в галактическом рентгеновском источнике SS 433 — остатке Сверхновой. Здесь от компактного объекта — звездного остатка Сверхновой, который является черной дырой, окруженной аккреционным диском, бьют в обе стороны прецессирующий джет, скорость сгустков выбрасываемого газа в котором составляет около 80 000 км/с. Аккрецируемое вещество поставляется вторым компонентом этой двойной системы, массивным сверхгигантом. Его наличие было первоначально установлено по характерным изменениям блеска, которые первым выявил А. М. Черепашук в результате многолетних наблюдений. Присутствие черной дыры было доказано лишь в 2002 г. по спектральным наблюдениям, позволившим оценить массу компактного объекта в 15 солнечных. Масса нейтронной звезды не может превышать 3–4 солнечных. Релятивистские джеты бьют и из ряда других рентгеновских двойных звезд, получивших название микроквazarов.

Такого же рода струи плазмы бьют из ядер многих квазаров и галактик, но масштабы явления несравненно больше. Так, размах обнаруживаемого в радиодиапазоне джета, бьющего по обе стороны из ядра радиогалактики 3C 236, составляет около 2,3 Мпк, что на 5 порядков больше, чем у джета SS 433, и вдвое превышает размеры всей Местной группы галактик! Такого рода газовые структуры у радиогалактик встречаются

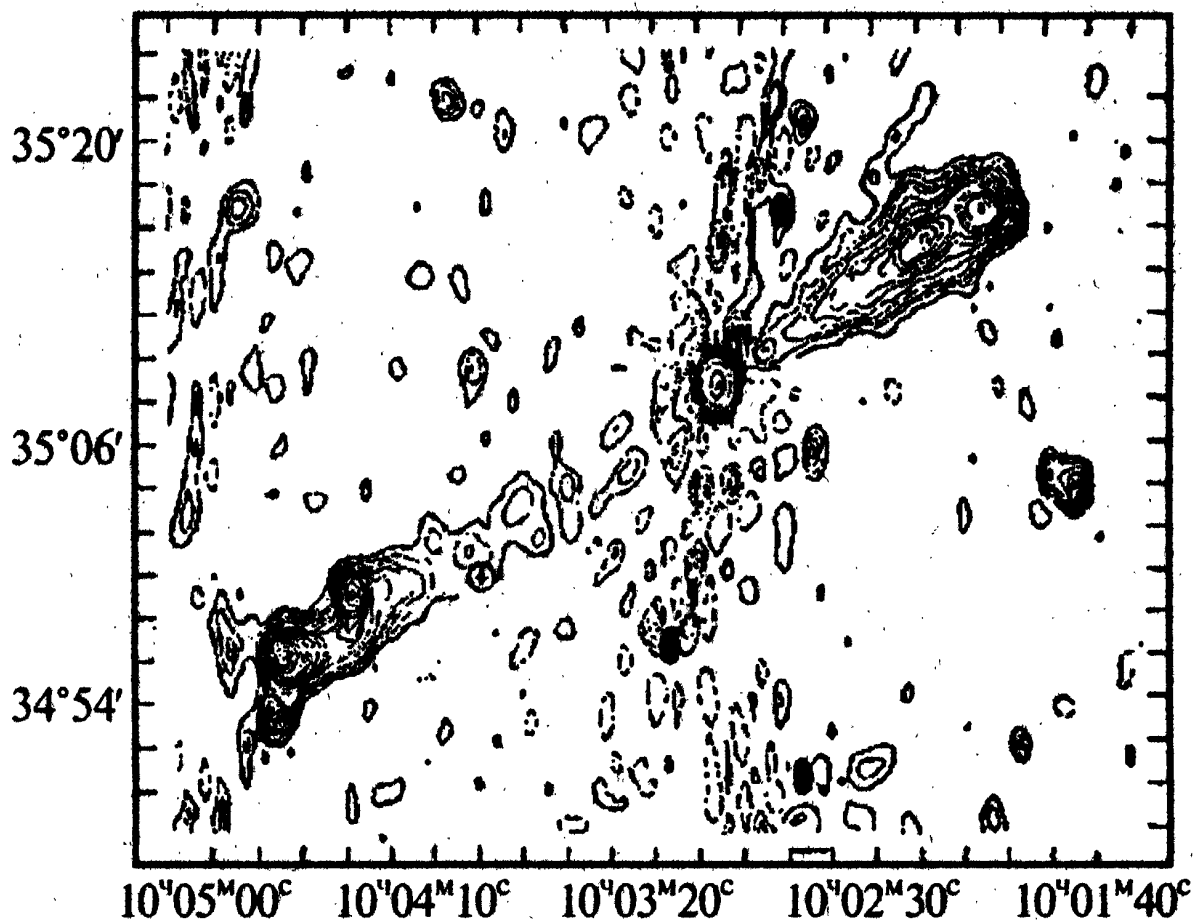


Рис. 15.3. Радиоизображение галактики 3C 286. Выбросы из ее ядра простираются на 2 Мпк

довольно часто и являются наибольшими унитарными образованиями, известными в астрономии (рис. 15.3). Наблюдения с большим разрешением обнаруживают, что эти сверхгигантские, расширяющиеся к концу джеты ориентированы вдоль весьма узких и намного более коротких выбросов из ядер галактик. Иногда эти выбросы остаются весьма узкими (угол при центре всего лишь несколько градусов) на протяжении сотен килопарсек, а близ их концов находятся обширные облака газа, видимого и в оптическом диапазоне — как в случае радиогалактики Лебедь А.

Физика этих явлений все еще неясна. Считается, что выбрасываемые из центрального источника вдоль его оси вращения сгустки плазмы удерживаются от расширения динамическим давлением внешнего газа, почему джеты, совокупность этих сгустков, и являются такими узкими. Однако это должно означать достаточно высокую плотность внегалактической среды, которая, по-видимому, возможна лишь в скоплениях или группах галактик. Следовало бы проверить, не выше ли частота галактик с узкими джетами в скоплениях.

Один такой случай хорошо известен — это односторонний выброс из ядра гигантской эллиптической галактики NGC 4486 (она же радиогалактика Дева А) в скоплении Девы, замеченный уже на первых фотографиях этой галактики. В конце 1954 г. И. С. Шкловский объяснил его свечение продолжением спектра синхротронного излучения (возникающего при быстром движении электронов в магнитном поле), наблюдающегося в радиодиапазоне, в оптическую область. Это была та же идея, которая пришла ему в голову в марте 1953 г. как объяснение оптического свечения Крабовидной туманности, но масштабы явления и его энергетика были на несколько порядков больше. И. С. Шкловский указал на необходимость наблюдений поляризации света от джета NGC 4486, наличие которой доказало бы правильность гипотезы. Через несколько месяцев В. А. Амбарцумян сообщил ему, что наблюдения на Бюраканской обсерватории поляризацию не обнаружили. Тем не менее в 1956 г. В. Бааде сумел на 5-метровом рефлекторе обнаружить поляризацию в каждом из «узлов» джета, и при этом оказалось, что направление вектора поляризации в соседних узлах отличается примерно на 90° . Понятно, что наблюдения всего джета с малым разрешением показали нулевую поляризацию.

Заметим в порядке отступления, что именно естественное предположение о том, что поляризация света различна в разных участках Краба, заставило И. С. Шкловского в 1953 г. полагать, что наблюдения не смогут проверить его гипотезу о синхротронной природе оптического излучения Краба. В своих воспоминаниях (1982 г.) он совершенно четко об этом пишет, хотя раньше в силу какой-то аберрации памяти говорил о своем предсказании поляризации для Краба. Умолчание о том, что в воспоминаниях И. С. Шкловского вся история изложена совершенно правильно, говорит о том, что аберрация памяти — распространенное явление...

Возвращаясь к Деве А, скажем, что И. С. Шкловский объяснил в 1974 г. также односторонность выброса из ее ядра, воспользовавшись развитой Р. Рисом теорией синхротронного излучения для случая

расширяющихся с релятивистскими скоростями источников. Если ось выбрасывания сгустков намагниченной плазмы (т. е. ось вращения центрального объекта) составляет небольшой угол с лучом зрения, то в силу релятивистских эффектов направленный в нашу сторону выброс будет выглядеть ярче.

Эти эффекты позднее были привлечены для объяснения сверхсветовых скоростей разлета компактных компонентов некоторых радиогалактик. Заметим, впрочем, что если мы имеем дело с субсветовыми скоростями движения вдоль оси, близкой к лучу зрения, то составляющая этой скорости в проекции на небосвод вполне может превышать скорость света. Нетрудно прикинуть, что если скорость выброса составляет, скажем, 80 000 км/с, то при угле между его направлением и лучом зрения в 12° в проекции на небосвод она составит 400 000 км/с. Астрономы неожиданно часто забывают, что наблюдаемые ими явления разыгрываются в трехмерном пространстве, а не в картинной плоскости, — особенно когда отсутствуют данные о лучевых скоростях. Возможно также, что мы наблюдаем не перемещение одного и того же сгустка, а потухание ближнего и возгорание более дальнего от ядра галактики.

* * *

Таким образом, давно уже ясно, что квазары являются не новым родом небесных объектов, а галактиками с необычно «активными» ядрами. Правда, несколько авторитетных астрономов с этим несогласны. Х. Арп с 1967 г. и по сей день приводит аргументы в пользу того, что квазары ассоциируются с гигантскими радиогалактиками. Его аргументы, по-видимому, не выдерживают статистической проверки, — и галактик, и квазаров достаточно много для того, чтобы их соседство на небе объяснялось случайной проекцией. Тем не менее Арп и поныне убежден в том, что квазары находятся поблизости, они выбрасываются из ядер больших пекулярных галактик и красное смещение квазаров лишь частично доплеровское и является свойством рождающегося в ядрах галактик нового вещества... Ф. Хойл и Дж. Бербидж придерживались близкой точки зрения.

Еще раньше принципиально похожие взгляды высказывал В. А. Амбарцумян, говоря об «активности» галактических ядер. Мнение об особой роли галактических ядер, порождающих вокруг себя галактики, восходит еще к Дж. Джинсу, который писал в 1928 г., что центры галактик могут быть особыми точками, в которых вещество вливается в нашу Вселенную из чуждых нам пространственных измерений. Это мнение воскрешается вновь и вновь; говорят о том, что черные дыры других вселенных для нашей Вселенной являются «белыми дырами», изливающими вещество. Однако эта точка зрения встречает очень серьезные теоретические возражения и не согласуется с наблюдательными данными. В частности, отнюдь не наблюдается истекания вещества из центров галактик вдоль их спиральных ветвей, которое ожидал увидеть Джинс.

Кроме того, в этой картине нет никакой необходимости. В последние годы получены прямые подтверждения того, что в ядрах многих галак-

тик действительно находятся сверхмассивные черные дыры, аккреция вещества на которые и приводит к разнообразным проявлениям «активности», экстремальной формой которой — редкой, но зато видимой на очень больших расстояниях — является феномен квазара. Это объяснение энергетики квазаров, выдвинутое впервые в 1964 г. Я. Б. Зельдовичем и И. Д. Новиковым, означает, что конечным ее источником является гравитационное взаимодействие черной дыры и падающего на нее вещества. Кроме того, часто в тех же самых галактиках, в ядерных областях идет процесс активного звездообразования; высокая светимость молодых массивных звезд и частые вспышки Сверхновых вносят свой вклад в явление активности ядер галактик. Оба процесса в существенной степени обусловлены стеканием к центру галактик газа, либо потерянного звездами населения II в процессе их эволюции (на что указал И. С. Шкловский), либо же потерявшего угловой момент при взаимодействии галактик.

Косвенные признаки наличия черных дыр с массами до сотен миллионов солнечных получены сейчас для полусотни галактик — это прежде всего ничтожно малые размеры очень ярких в рентгене, оптике и радиодиапазоне сердцевин их ядер и очень большая дисперсия скоростей в пределах этих сердцевин. Ныне имеются также прямые, практически однозначные свидетельства наличия черных дыр в центрах нескольких галактик. Это относится прежде всего к нашей собственной Галактике, где прямые наблюдения собственного движения нескольких звезд указывают на огромные скорости и малые радиусы их орбитальных движений вокруг объекта, координаты которого точно совпадают с координатами радиоисточника Sgr A*. Результаты 10-летнего слежения за одной из этих звезд на VLT позволили установить, что она обращается по эллиптической орбите с периодом всего лишь в 15 лет! В начале 2003 г. были опубликованы результаты наблюдений на телескопе Кеск, которые показали, что в 1999 г. другая звезда промчалась со скоростью 9 000 км/с на расстоянии всего лишь в 60 А. Е. от центрального объекта Галактики. Им может быть лишь черная дыра и масса ее составляет $3,6 \pm 0,4$ миллионов масс Солнца. Через несколько лет совместное рассмотрение собственных движений и лучевых скоростей обращающихся вокруг центра Галактики звезд позволят установить расстояние до него с точностью, намного выше достижимой любыми другими способами. Недавно наблюдались флуктуации рентгеновского блеска Sgr A*, характеристики которых соответствуют ожидаемым у черных дыр. Высокие орбитальные скорости мазерных источников в ядерной области спиральной галактики NGC 4258 также указывают на то, что огромная невидимая масса заключена в очень малом радиусе, что может быть лишь в черной дыре.

Несмотря на присутствие черной дыры, особой активностью ядро нашей Галактики, как и многих других галактик с черными дырами, не отличается. По всей видимости, приток вещества к центрам таких галактик в современную эпоху слишком мал.

Наблюдения с HST показывают, что признаки наличия черной дыры обнаруживаются в каждой гигантской эллиптической галактике и в спи-

ральных галактиках, имеющих балдж, т. е. центральное вздутие, напоминающее эллиптические галактики и состоящее в основном из звезд населения II. Оказывается, что масса черной дыры коррелирует с массой балджа или всей эллиптической галактики (которую можно рассматривать как балдж, лишенный диска). Это означает, что центральная черная дыра возникает в процессе эволюции галактики, точнее, ее сферической составляющей. О наличии в галактике диска черная дыра, сидящая в ее центре, вообще, так сказать, не знает. В галактиках с небольшой долей объектов населения II ядра либо вообще отсутствуют (как в Большом Магелановом Облаке), либо же слабо развиты. Так, в галактике Треугольника (M 33) ядро представлено ярким и в рентгеновском диапазоне звездным скоплением с большой дисперсией возрастов звезд, но черная дыра в нем если и существует, то масса ее не превышает 2 000 солнечных.

Многие астрономы полагают, что эллиптические галактики и балджи возникают в процессе слияния небольших галактик, которое, очевидно, приводит к оседанию вещества, потерявшее угловой момент, к центру. Одним из путей образования в центре сверхмассивных черных дыр может быть и слияние черных дыр меньших масс, которые могли находиться в плотных звездных скоплениях, постепенно приближающихся к центру галактики вследствие динамического трения, воздействия приливных сил от центра, как давно уже предположил В. Г. Сурдин. В двух старых шаровых скоплениях, в нашей Галактике и в M 31, в 2002 г., по-видимому, обнаружены черные дыры с массами в 4 000 и 20 000 солнечных — их присутствие доказывается высокими скоростями звезд в небольшой области вокруг центра скопления. Корреляция масс черных дыр и дисперсии скоростей звезд в балджах галактик, во всяком случае, несовместима с предположением о том, что галактики возникают вокруг уже готовых черных дыр — откуда последние могли бы узнать, какую галактику им предстоит породить?

Таким образом, открытие квазаров предвещало обнаружение в центрах галактик сверхмассивных черных дыр — самых удивительных объектов, известных современной науке. Здесь мы снова, как в случае темной материи и темной энергии, соприкасаемся с неизвестным. Черные дыры (все же лучше их называть коллапсарами, как предлагали когда-то Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков) могут быть окнами в другие вселенные, в другие пространства и времена. Правда, А. Эддингтон, астрономическая интуиция которого не раз оправдывалась, был убежден, что звезды не могут превращаться в черные дыры и что должен существовать некий закон природы, не позволяющий звезде вести себя «столь абсурдным образом». Однако существование весьма массивных коллапсаров в центрах галактик доказано наблюдениями; практически невозможно обойтись без предположения о наличии черных дыр и в нескольких системах двойных звезд, в том числе в SS 433. Это предположение является неизбежным следствием релятивистской теории тяготения, имеющей много бесспорных подтверждений. Предсказанные теорией свойства коллапсаров — черных дыр — начинают уже наблюдаться.

КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ

Ночью я открываю мой люк и смотрю, как далеко разбрызганы в небе миры. И все, что я вижу, умножьте на сколько хотите, есть только граница новых и новых вселенных. Дальше и дальше уходят они, расширяясь, всегда расширяясь. За грани, за грани, вечно за грани миров.

Уолт Уитмен

Главная задача стоит перед теми, кто получает выводы, соединяя теорию с наблюдениями; имя им — астрономы.

Айвен Кинг

В 1914 г. Вестон Слайфер опубликовал первое определение лучевой скорости туманности Андромеды по спектрограмме, полученной им на 24-дюймовом рефракторе Ловелловской обсерватории. Оказалось, что галактика приближается к нам со скоростью около 300 км/с. Долгие годы Слайфер был единственным человеком в мире, получавшим спектры галактик; к 1925 г. в его коллекции был 41 объект. Странной особенностью обладали эти спектры — отрицательная скорость М 31 оказалась редким исключением; в среднем она составляла +375 км/с, а наибольшая скорость была +1 125 км/с. Почти все галактики удалялись от нас, и скорости их превышали скорость любых других объектов, известных астрономам. (Напомним, что отрицательные скорости направлены к нам, положительные — от нас.)

Обсерваторию в Флагстаффе П. Ловелл построил специально для наблюдений каналов Марса. Многие из нас пришли в астрономию, увлеченные его книгой, в которой рассказывалось о волне потемнения, о расщеплении каналов, переполняемых водой марсианской весны... Однако на этой обсерватории были открыты и не менее фантастические, но совершенно реальные вещи. Они означали расширение всей Вселенной.

В 1924 г. К. Вирц обнаружил слабую корреляцию между угловыми диаметрами и скоростями удаления галактик и предположил, что она может быть связана с космологической моделью В. де Ситтера, согласно которой скорость удаления отдаленных объектов должна возрастать

с их расстоянием. Модель де Ситтера соответствовала пустой Вселенной, но в 1923 г. немецкий математик Г. Вейль отметил, что если в нее поместить вещество, она должна расширяться. О нестатичности Вселенной де Ситтера говорилось и в книге Эддингтона, опубликованной в том же году. Де Ситтер, опубликовавший свою работу «Об эйнштейновской теории гравитации и ее астрономических следствиях» в 1917 г., сразу же после появления общей теории относительности, знал только три лучевые скорости; у М 31 она была отрицательна, а у двух слабых галактик — положительная и большая.

Выводы Вирца не казались очень убедительными. Галактики с меньшим диаметром обычно являются и более компактными; большие красные смещения в их спектре, вообще говоря, могли быть вызваны и более сильным гравитационным полем. Иными словами, красное смещение могло быть не доплеровским, а эйнштейновским, и меньший диаметр мог быть связан не с большим расстоянием, а с большей плотностью галактики и, следовательно, ее более сильным гравитационным полем. Лишь много позднее выяснилось, что преобладание среди более далеких галактик более компактных объектов объясняется наблюдательной селекцией — у последних больше поверхностная яркость, и их легче обнаружить.

К. Лундмарк и затем Г. Стремберг, повторившие работу Вирца, не получили убедительных результатов, а Стремберг даже заявил в 1925 г., что «не существует зависимости лучевых скоростей от расстояния от Солнца». Ясно было, что ни диаметр, ни светимость галактик не могут считаться надежными критериями их расстояния, так как оба параметра сильно отличаются у разных галактик.

О расширении непустой Вселенной говорилось и в первой космологической работе бельгийского теоретика Ж. Леметра, опубликованной в 1925 г. Следующая его статья, опубликованная в 1927 г., в Брюсселе, называлась «Однородная Вселенная постоянной массы и возрастающего радиуса, объясняющая радиальные скорости внегалактических туманностей». Коэффициент пропорциональности между скоростью и расстоянием, полученный Леметром, был близок к найденному Хабблом в 1929 г. В 1931 г. по инициативе Эддингтона статья Леметра была перепечатана в «Monthly Notices» и стала с тех пор широко цитироваться; работы А. А. Фридмана, близкие по духу, были опубликованы еще в 1923–1924 гг., но стали широко известны много позднее. Во всяком случае, Леметр был первым, кто четко заявил, что объекты, населяющие расширяющуюся Вселенную, распределение и скорости движения которых и должны быть предметом космологии — это не звезды, а гигантские звездные системы, галактики. Леметр опирался на результаты Хаббла, с которыми он познакомился, будучи в США в 1926 г. на его докладе.

Американский теоретик Х. Робертсон в 1928 г., используя данные Хаббла 1926 г., также нашел, что скорости разбегания галактик пропорциональны их расстоянию. По-видимому, эту работу Хаббл знал. С 1928 г. по его заданию М. Хьюмасы упорно старался измерить красное смещение у возможно более далеких галактик. Милтон Хьюмасы (1891–1972)

начинал когда-то как разнорабочий обсерватории Маунт Вилсон, а затем был «ночным помощником». Вскоре за 45 часов экспозиции у галактики NGC 7619 в скоплении Персея была измерена скорость удаления в 3 779 км/с. (Надо ли говорить, что последние две цифры излишни.) Сам же Хаббл разработал критерии определения расстояний, основанные на предположении об одинаковости блеска самых ярких отдельных звезд внутри разных галактик. К 1929 г. у него были уверенные расстояния двух десятков галактик, в том числе в скоплении Девы, скорости которых доходили до 1 100 км/с.

И вот 17 января 1929 г. в Труды Национальной академии наук США поступила статья Хьюмасаона о лучевой скорости NGC 7619 и статья Хаббла, называвшаяся «Связь между расстоянием и лучевой скоростью внегалактических туманностей». Сопоставление этих расстояний с лучевыми скоростями показало четкую линейную зависимость скорости от расстояния, по праву называющуюся теперь законом Хаббла (рис. 16.1). Вселенная оказалась расширяющейся, а поэтическая метафора Уитмена вдруг стала точным описанием действительности!

Хаббл понимал значение своего открытия. Сообщая о нем, он писал, что «зависимость „скорость—расстояние“ может представлять эффект

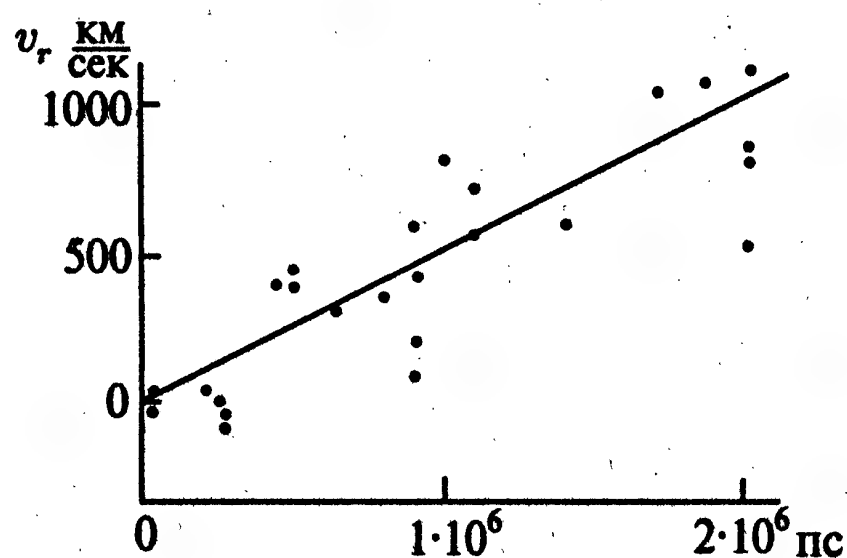


Рис. 16.1. Диаграмма «лучевая скорость—расстояние галактик», построенная Хабблом в 1929 г. — первое изображение «закона Хаббла»

де Ситтера, и, следовательно, она может дать количественные данные для определения общей кривизны пространства». Многочисленные попытки объяснить зависимость Хаббла не расширением Вселенной, а чем-либо иным, неизменно терпят неудачу. Так, не проходит старое предположение о том, что за долгое время пути фотоны «стареют», теряют энергию и соответствующая длина волны увеличивается — при этом размывались бы и изображения далеких объектов, а величина красного смещения зависела бы

и от длины волны, чего не наблюдается. Прямые свидетельства правильности вывода о том, что более далекие объекты имеют большее красное смещение, получены недавно при изучении кривых блеска и спектров далеких Сверхновых звезд.

Подчеркнем, что решающее значение имели методы определения расстояний галактик, разработанные Хабблом, для чего понадобились прямые фотографии на 100-дюймовом рефлекторе. В 1930-х гг. Хаббл и его сотрудники занимали более половины наблюдательного времени крупнейшего — и практически единственного тогда пригодного для таких работ — телескопа. И эта концентрация усилий привела к величайшим достижениям наблюдательной астрономии XX века!

К 1935 г. у Хьюмаса были спектрограммы 150 галактик до расстояний, в 35 раз превышающих расстояние скопления галактик в Деве, а к 1940 г. наибольшие обнаруженные им скорости удаления галактик составляли уже 40 000 км/с. Вплоть до самых больших расстояний сохранялась прямая пропорциональная зависимость между красным смещением, $z = \Delta\lambda/\lambda$, и расстоянием, которая в общем виде записывается так:

$$cz = v = H\tau,$$

где c — скорость света, z — расстояние и v — лучевая скорость. Коэффициент пропорциональности H был назван позднее постоянной Хаббла.

Как уже говорилось, этот новый закон природы получил объяснение в основанных на общей теории относительности моделях Вселенной еще до того, как он был незыблемо установлен. Приоритет должен быть отдан А. А. Фридману; модели, полученные ранее Эйнштейном и де Ситтером, оказались предельными случаями моделей Фридмана. Широко известными долгое время оставались лишь результаты Леметра (не знакомого тогда с работами Фридмана), который после опубликования работы Хаббла напомнил Эддингтону о своем выводе 1927 г. о расширении модели Вселенной с конечной средней плотностью вещества в ней. Однако уже в 1931 г. Эйнштейн, говоря о расширяющейся Вселенной, отметил, что первым на этот путь вступил Фридман.

Однако сам Хаббл вскоре потерял уверенность в том, что красное смещение означает именно расширение Вселенной, вероятно, под влиянием неумолимого вывода из этого предположения. Как писал тогда Г. Рассел, «признать теорию де Ситтера без оговорок преждевременно. Философски неприемлемо, чтобы все галактики прежде были вместе. На вопрос „почему“ ответа мы не находим». Именно из такого рода соображений Эйнштейн ввел в свои уравнения 1916 г. космологический член, долженствующий стабилизировать Вселенную. К этой глубочайшей проблеме мы еще вернемся.

Летом 1929 г. Хаббл обрушился на де Ситтера, посмеявшегося опубликовать детальную работу, посвященную сравнению теоретических и наблюдательных выводов о расширении Вселенной. Он писал де Ситтеру, что зависимость «скорость—расстояние» является «маунтвилсоновским достижением», и что «первое обсуждение новых данных естественно принадлежит тем, кто действительно выполнял работу». Однако в 1931 г., после появления гипотезы Цвикки о возможности старения фотонов, Хаббл написал де Ситтеру, что «интерпретацию следует оставить Вам и еще очень немногим, кто компетент авторитетно обсуждать предмет»... До конца своей жизни (1953 г.) Хаббл, по-видимому, так и не решил, говорит ли красное смещение о расширении Вселенной, или оно обязано «некоему новому принципу природы».

* * *

Красное смещение, пропорциональное расстоянию, означает не разбегание галактик именно от нас, а увеличение всех расстояний между

ними, со скоростью, пропорциональной величине расстояния, подобно тому, как увеличиваются расстояния между всеми точками, расположенными на поверхности раздувающегося шара. Наблюдатель в любой галактике видит, что все другие галактики разбегаются от него. Определение точного значения коэффициента пропорциональности в зависимости расстояний от скорости остается одной из самых важных задач астрономии.

Расскажем прежде всего, как ее решал сам Хаббл в 1935 г. У него были данные о красном смещении 29 близких галактик, находящихся, однако, за пределами Местной группы: слишком близкие галактики использовать заведомо нельзя, так как для них скорости удаления от нас, обусловленные расширением Вселенной, слишком малы и сравнимы со случайными их скоростями в пространстве. В этих 29 галактиках Хаббл определил звездные величины самых ярких звезд. Поскольку светимости их во всех галактиках, как нашел Хаббл, примерно одинаковы, их звездные величины должны быть функцией расстояния, и действительно, они показывают зависимость от скорости удаления v . Эта зависимость, по данным Хаббла, представляется формулой $\lg v = 0,2m - 1,0$. С другой стороны, $v = Hr$, $\lg v = \lg H + \lg r$, и согласно формуле, полученной в конце главы 3, $\lg r = 0,2(m - M) + 1,4$ где M — абсолютная величина. Из этих трех формул и вытекает выражение, с помощью которого определяется в данном случае постоянная Хаббла: $\lg H = 0,2M - 2,00$ ¹⁾. Абсолютная величина ярчайших звезд, найденная Хабблом, была равной $-6^m,35$, и величина H (Хаббл обозначал ее v/r) получилась равной 535 (км/с)/Мпк.

Поскольку светимость ярчайших звезд была определена сравнением их с цефеидами, пересмотр нуля-пункта зависимости «период—светимость» означал необходимость и пересмотра величины постоянной Хаббла. М. Хьюмассон, Н. Мейолл и А. Сендидж в 1955 г., используя новые данные о красном смещении и учтя поправку Бааде к нулю-пункту зависимости «период—светимость», получили $H = 180$ (км/с)/Мпк.

В 1958 г. Аллан Сендидж, продолжая дело своего учителя Хаббла, скончавшегося в 1953 г., опубликовал результаты новой ревизии постоянной H . Опираясь главным образом на Новые звезды, Сендидж пришел к выводу, что модули расстояний Магеллановых Облаков, М 31, М 33 и NGC 6822 надо увеличить в среднем на $2^m,3$ сравнительно со значениями, принятыми Хабблом. На столько же, следовательно, надо сделать ярче абсолютные величины ярчайших звезд; они были уточнены еще и путем привлечения новых данных о ярчайших звездах галактик Местной группы. Но, помимо этих уточнений, Сендидж обнаружил у своего учителя еще и трагическую ошибку, состоящую в том, что объекты, которые Хаббл принимал за ярчайшие звезды в лежащих за пределами Местной группы галактиках, являются в действительности компактными эмиссионными туманностями, областями H II.

¹⁾ В общем виде из закона Хаббла $cz = Hr$ и формулы $\lg r = 0,2(m - M) + 1$ следует $m = 5 \lg z + M - 5 \lg H + 5 \lg c - 5$, и, для объектов одинаковой светимости, подчиняющихся линейному закону Хаббла, $m = 5 \lg z + \text{const}$.

Хаббл, который в 1920-х гг. мог работать только с пластинками, чувствительными к синим лучам («красные» фотопластинки были тогда еще слишком малочувствительны), не имел возможности отличить изображения компактных областей Н II от звезд, особенно в далеких галактиках. Даже в М 31, несмотря на тщательные поиски, он не нашел ни одной эмиссионной туманности, хотя сейчас их там известно 981. Вероятно, поэтому возможность такой путаницы не приходила Хабблу в голову. Лишь Бааде, фотографировавший М 31 в разных лучах и, в частности, применявший пластинки, чувствительные к красным лучам, и светофильтры, вырезающие красную водородную линию H_α , смог отыскать их. Сендидж, снимая галактику NGC 4321 в скоплении Девы в разных лучах, обнаружил, что ярчайшие области Н II ярче самых ярких звезд на $1^m,8$ — вот на сколько Хаббл преуменьшал модуль расстояния, определяя его по «ярчайшим звездам». Суммарная ошибка в принятых Хабблом модулях расстояния составляет, следовательно, около $4^m,0$! В итоге, по оценке Сендиджа, постоянная Хаббла должна быть заключена в пределах 50–100 (км/с)/Мпк. (В этих пределах она гуляет и по сей день.) Причину оставшейся неопределенности он приписал в основном дисперсии абсолютных величин ярчайших звезд. Результаты Сендиджа означали, что расстояния далеких галактик Хаббл преуменьшал в 6–7 раз!

Через десять лет, в 1968 г., Сендидж определил постоянную Хаббла другим способом. Еще Хаббл установил, что ярчайшие члены скоплений галактик — гигантские эллиптические галактики — имеют почти одинаковую абсолютную величину. Можно и для них построить зависимость между видимыми величинами и красным смещением, и если определить светимость хотя бы одной из них, из этой зависимости можно определить постоянную Хаббла, аналогично тому, как это делал сам Хаббл с ярчайшими звездами. Особенно важно при этом, что мы можем уйти теперь неизмеримо дальше — ярчайшие галактики скоплений ярче ярчайших звезд на 11^m-12^m ! Однако уже тогда подозревали, что при скоростях удаления, меньших 4 000 км/с, наблюдается местная неоднородность поля скоростей галактик, и определяемая по недостаточно далеким галактикам постоянная Хаббла может отражать не только расширение Вселенной, но и местные отклонения в некоторых направлениях от средней скорости расширения, связанные с возможным существованием местного сверхскопления (скопления скоплений) галактик. Особенно настаивал на этом Жерар де Вокулёр.

Светимость наиболее яркой галактики в скоплениях можно определить, зная расстояние хотя бы одного скопления. Ближайшим богатым скоплением является скопление в Деве, и Сендидж использовал для определения его расстояния шаровые скопления в эллиптической галактике М 87. Эта галактика, один из ярчайших членов скопления в Деве, известна как мощный радиоисточник (Дева А), знаменита выбросом из ядра и обладает рекордным количеством шаровых скоплений — насчитано

не менее 4 000, а полное их число должно достигать 10 000! Напомним, что в туманности Андромеды известно около 300 скоплений, а в нашей Галактике 135.

Предполагая далее, вместе с Сендиджем, что светимость ярчайших звездных скоплений в богатых ими галактиках одинакова, зная интегральную абсолютную величину ярчайшего скопления нашей Галактики ($-9^m,7 B$, ω Кентавра) и М 31 ($-9^m,8 B$, В282), а также блеск ярчайшего скопления М 87 ($21^m,3 B$), получаем модуль расстояния М 87 и всего скопления галактик: $m - M = 21^m,3 + 9^m,8 = 31^m,1$. Отсюда следует, что ярчайшая галактика скопления Девы (эллиптическая галактика NGC 4472, в которой также очень много шаровых скоплений) — и, следовательно, ярчайшие галактики во всех скоплениях вообще — имеют абсолютную величину $-21^m,7$.

На рис. 16.2 показана зависимость между интегральными величинами ярчайших галактик в 65 скоплениях и их красными смещениями.



Рис. 16.2. Диаграмма Хаббла — зависимость «красное смещение—звездная величина» для 65 ярчайших галактик в скоплениях. Уравнение прямой имеет вид $m = 5 \lg z + \text{const}$, подтверждающая справедливость закона Хаббла (см. примечание на с. 210). Указаны пределы красного смещения, достигнутые разными исследователями. Рисунок взят из работы А. Сендиджа, Дж. Кристиана и Дж. Вестфала

Эти смещения доходят до 140 000 км/с. Очень маленький разброс точек вокруг прямой является прекрасным подтверждением как закона Хаббла, так и одинаковости светимости ярчайших галактик скоплений, содержащих не менее 30 членов.

К сожалению, квазары, несмотря на их яркость и большие красные смещения, нельзя использовать ни для определения постоянной Хаббла, ни для изучения отклонений от закона Хаббла, важных для построения моделей Вселенной. Их светимости, как показывает рис. 16.3, различаются слишком сильно и из этого рисунка можно лишь сказать, что галактики со сверхактивными ядрами — называемые квазарами — намного ярче обычных галактик (рис. 16.3).

Зная абсолютную величину галактик и зависимость их видимых величин от красного смещения, легко найти постоянную Хаббла, воспользовавшись формулой, приведенной в сноске на с. 210, — все члены, кро-

ме H , теперь известны. Таким способом Сендидж получил в 1968 г. значение $H = 75$ (км/с)/Мпк, долгое время считавшееся наиболее вероятным.

Однако в серии статей, опубликованных в 1974–1975 гг., А. Сендидж и швейцарский астроном Г. Тамман получили для постоянной Хаббла значение 55 (км/с)/Мпк. Определив с помощью цефеид расстояния галактик Местной группы и группы М 81, они получили зависимость между линейными размерами областей Н II и светимостью содержащей их галактики. С помощью этой зависимости они по угловым диаметрам областей Н II нашли расстояния многих неправильных и спиральных галактик поля и определили светимость гигантских спиральных галактик ScI, которые можно выделить по внешнему виду. Для 50 слабых галактик ScI Сендидж и Тамман определили лучевые скорости (все они оказались превышающими 4 000 км/с). Зная видимые и абсолютные величины, нетрудно получить постоянную Хаббла.

Сендидж и Тамман настаивали на том, что постоянная Хаббла с ошибкой примерно в 10 % составляет 50 (км/с)/Мпк, тогда как Ж. де Вокулёр с той же ошибкой получал значение $H = 95$. Магическое число 10 % неразрывно связано с определениями этой постоянной; напомним, что Хаббл определил ее равной 535 (км/с)/Мпк — и ошибку оценил именно в 10 %... Надо сказать, что у большинства астрономов получалось значение H между 75 и 100, и Сендидж и Тамман были почти единственными сторонниками длинной шкалы расстояний. Отголоски этого спора слышны и до сих пор, хотя возможный диапазон значений постоянной Хаббла сузился.

Это произошло в основном благодаря специальной программе наблюдений цефеид на Космическом телескопе имени Хаббла. Они были

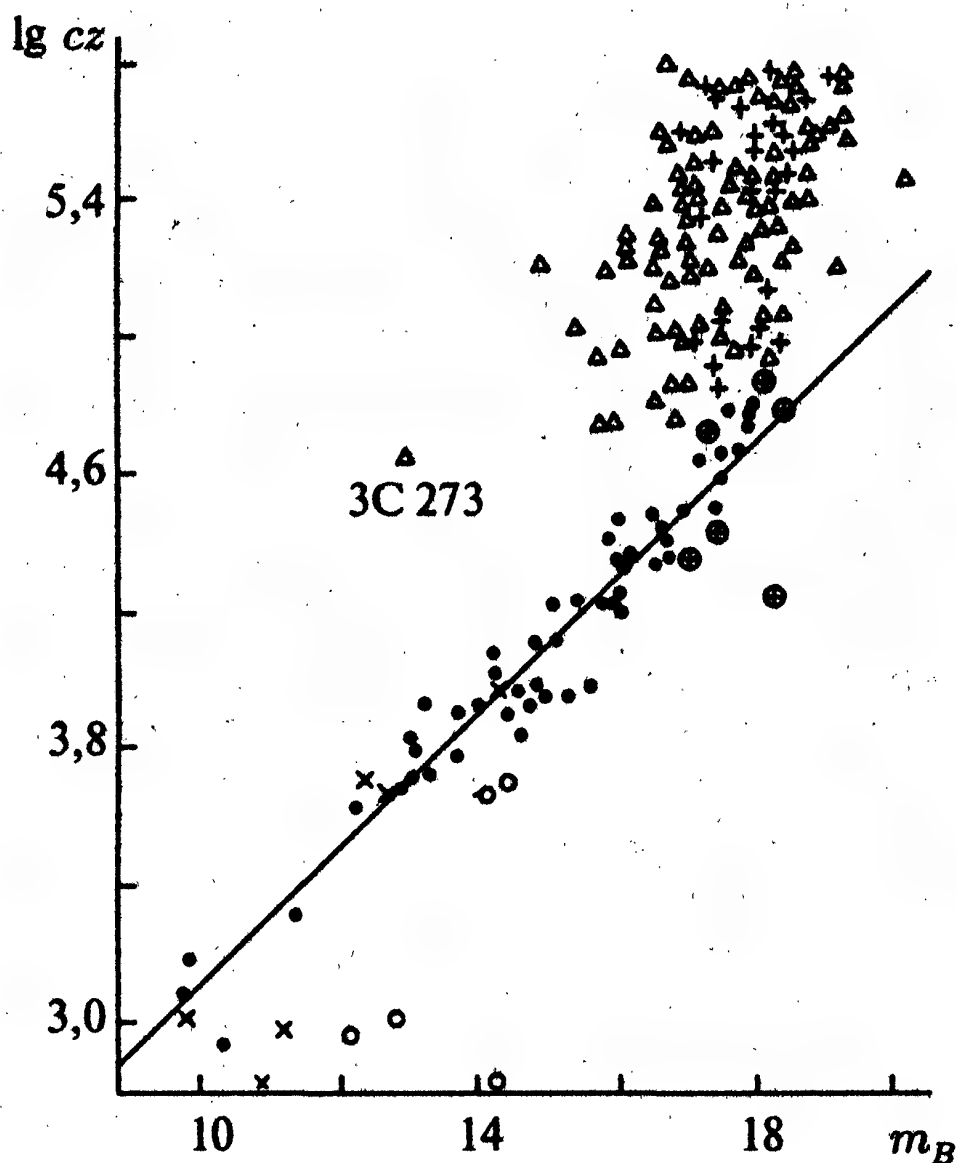


Рис. 16.3. Диаграмма Хаббла для квазаров, радиогалактик и сейфертовских галактик, построенная Сендиджем. Отклонения от прямой означают не нарушение закона Хаббла, а большую дисперсию светимостей этих объектов. • — радиогалактики, Δ — радиоизлучающие квазары, + — квазизвездные объекты (квазары без радиоизлучения) $\oplus$ — красные квазизвездные объекты, x — сейфертовские галактики, o — ядра сейфертовских галактик

найжены и исследованы в двух десятках галактик, в основном в скоплении Девы, и по расстояниям этих галактик были прокалиброваны методы (Талли—Фишера, Сверхновые Ia и др.), позволяющие определять расстояния еще более далеких галактик, для которых можно пренебречь их случайными движениями. Одна группа исследователей, которую возглавляла знаток цефеид В. Фридман, получила в 2001 г. значение $H = 72 \pm 7$, а группа А. Сендиджа получила в 2000 г. величину $H = 59 \pm 6$. Ошибка опять-таки оценена обеими группами точно в 10 %!

Проблема определения постоянной Хаббла является столь острой, поскольку от ее значения зависят и масштабы Вселенной, и ее средняя плотность, и возраст. Экстраполируя разбегание галактик назад, мы приходим к выводу, что когда-то они все были собраны в одной точке. Если расширение Вселенной происходило с одной и той же скоростью, то величина, обратная постоянной Хаббла ($1/H = r/v = t$), позволяет сказать, что этот момент $t = 0$ имел место 13–19 ($H = 50$) или 7–10 ($H = 100$) миллиардов лет назад. Этот «экспансионный возраст Вселенной» при меньшем значении постоянной Хаббла, которое неизменно получается у Сендиджа, уверенно больше возраста старейших звезд, чего нельзя сказать про значение $H = 100$. Впрочем, ныне проблема потеряла свою остроту, поскольку теперь практически не подлежит сомнению, что расширение Вселенной протекало с неодинаковой скоростью, о чем будет речь в главе 17.

Напомним, что значение постоянной Хаббла, определенное им самим, приводило к «возрасту Вселенной», меньшему возрасту Земли, и этот парадокс подсознательно определял стремление исследователей, с одной стороны, уменьшить постоянную Хаббла, а с другой, — попытки объяснить красное смещение без предположения о расширении Вселенной. Первое удалось, второе нет. Таким образом, закон Хаббла означает, что около 10–15 млрд лет назад плотность вещества Вселенной была чудовищно большой. Избежать этого вывода можно, только вводя такие новые физические принципы, для которых нет ни наблюдательных, ни экспериментальных оснований.

* * *

Долгое время задачей поисков объектов с максимально большим красным смещением занимались лишь немногочисленные энтузиасты. Для этого требовались крупнейшие телескопы и многочасовые экспозиции. И энтузиастов, и больших телескопов было меньше, чем пальцев на одной руке. В моей научно-популярной статье, писавшейся для журнала «Квант» в 1970-х гг., говорилось, что ситуация аналогична той, как если бы заряд электрона можно было бы измерить лишь на двух приборах в мире, — ведь знание точного значения постоянной Хаббла имеет не меньшее значение для науки. Статья так и не появилась, и я ушел в знак протеста из редколлегии этого журнала. Физики — кроме Л. А. Арцимовича, — вероятно, боялись, что телескопы отнимут деньги у ускорителей. Дорогие вы мои, дорогие — приговаривал президент

АН СССР М. В. Келдыш при виде астрономов в конце 1960-х гг., когда заканчивалось строительство 6-метрового телескопа...



Рис. 16.4. Эдвин Хаббл в кабине главного фокуса 5-метрового рефлектора

С вводом в действие 200-дюймового телескопа (рис. 16.4) Хьюмасон смог в 1949 г. измерить $z = 0,20$ у галактики из скопления в Гидре с $V = 17^m,3$. Линии ночного неба долго не позволяли получить красное смещение для более слабых и далеких галактик по линиям поглощения в их спектре. По единственной эмиссионной линии Р. Минковский в 1960 г. нашел $z = 0,46$ для радиогалактики 3C 295 ($V = 19^m,9$), долго остававшееся рекордным для галактик. В 1971 г. это значение подтвердил Дж. Оук по линиям поглощения, получив запись спектра 3C 295 с помощью 32-канального спектрометра и определив его сдвиг относительно стандартного спектра с нулевым красным смещением. На эту работу ушло 8 часов времени 200-дюймового телескопа. В 1929 г. Хьюмасону понадобилось 40 часов на 100-дюймовом телескопе для определения красного смещения галактики, на восемь звездных величин более яркой.

В 1975 г. Х. Спинрад с помощью 3-метрового рефлектора нашел $z = 0,637$ у радиогалактики 3C 123 — с $m = 21^m,7V$. Несколько линий в спектре 3C 123 Спинрад смог измерить с помощью электронно-оптического сканирующего спектрометра, накопив фотоны за 7 часов

наблюдений в течение 4 ночей. Это гигантская эллиптическая галактика, вчетверо более мощная в радиодиапазоне, чем Кентавр А. Затем Сендидж и его сотрудники нашли $z = 0,53$ у радиогалактики 3С 330. Наконец, в 1981 г. Спинрад, получая спектры радиогалактик, нашел $z = 1,050$ для 3С 13 и $z = 1,175$ для 3С 427; экспозиции снова доходили до 40 часов, но наблюдались объекты, в десятки тысяч раз более слабые, чем в 1929 г.

Измерения предельно больших красных смещений оставались делом одиночек, пока мысль о том, что, изучая Вселенную на предельно больших масштабах, мы постигаем физику, управляющую и микромиром, не овладела массами... Конечно, это было связано и с успехами теории элементарных частиц на пути в построении единой теории физических взаимодействий, для проверки которой требуются данные о всей Вселенной. Перелом произошел на рубеже 1980–90-х гг. В 1993 г. Конгресс США остановил строительство суперколлайдера, на которое уже было потрачено два миллиарда долларов из восьми, но строительство больших телескопов продолжалось ускоренными темпами. Правда, и стоили они на два порядка дешевле. Началось создание телескопов и приемных устройств, специально предназначенных для предельно глубоких спектральных обзоров неба.

Астрономия стала превращаться, на полвека позднее физики, в Большую науку, в которой многочисленные коллективы работают на гигантских установках. Огромную роль сыграло и развитие электроники, приведшее к созданию эффективных светоприемников. Приборы с зарядовой связью (CCD, Charge Coupled Devices) кажутся уже абсолютным оружием, поскольку их квантовый выход достигает 90 %.

Для англо-австралийского 4-метрового телескопа было разработано устройство, которое с помощью световодов позволяет одновременно получать спектры в области размером в 4 кв. градуса. Из 250 000 красных смещений галактик, которые запланировано получить, к весне 2001 г. было измерено уже 150 000. В это сотрудничество участвуют 20–30 человек. Более масштабны задачи Слоановского численного обзора неба, для которого на средства миллионера Слоана был построен широкоугольный 3,5-метровый телескоп. Задачей обзора является измерить, исходя из многоцветной фотометрии, красные смещения примерно миллиона галактик на четверти площади небосвода. Здесь задействовано уже 150 астрономов из 11 институтов.

Среди первых уловов Слоановского обзора было обнаружение в 2001 г. квазара с красным смещением $z = 6,28$. Однако недавно этот рекорд был перекрыт, и чемпионом оказался не квазар, а галактика. Как мы знаем, квазары являются галактиками с необычно ярким ядром, и их легче обнаружить на больших расстояниях. Зафиксировать красное смещение столь далекой обычной галактики удалось, потому что световой поток от нее был усилен в 4,5 раза благодаря эффекту гравитационного линзирования. Эта галактика, обозначаемая HSM 6A, находится в 1 мин дуги от центра массивного скопления галактик Abell 370, которое, находясь гораздо ближе к нам, послужило гравитационной

линзой. Благодаря действию этого естественного телескопа и удалось с помощью 10-метрового телескопа Кеск-II на Мауна Кеа зафиксировать спектр галактики в инфракрасном диапазоне. На длине волны 9190 Å была найдена эмиссионная линия, которая почти наверняка является линией L_α , сдвинутой красным смещением $z = 6,56$ из ультрафиолетовой области спектра. Это отождествление было подтверждено наблюдениями на соседнем японском 8-метровом телескопе Subaru, которые показали, что в более далеких инфракрасных полосах поток в тысячи раз слабее, чем в этой эмиссионной линии, что согласуется с ее отождествлением как линии L_α . Этот результат, полученный коллективом авторов во главе с Э. Хью, опубликован в марте 2002 г. Каков-то будет следующий рекорд?

Обзоры типа Слоановского должны привести к построению трехмерной карты Вселенной и выявить объекты, достойные особого внимания. В нашем пути в глубины Вселенной мы пришли к максимально удаленным объектам. Мы знаем теперь, что образование галактик происходило при z , заметно превышающем 6. Красные смещения галактик, превышающие найденные для квазаров, означают, что явление квазара уже нельзя считать соответствующим лишь ранней стадии эволюции галактик.

БУДУЩЕЕ ПРИНАДЛЕЖИТ АСТРОНОМИИ

Если бы теоретики знали, как получены точки экспериментальных данных, а наблюдатели знали, как получены результаты теоретических вычислений, они бы относились друг к другу гораздо менее серьезно.

Фриц Цвикки

Если провести необходимые наблюдения и правильно их интерпретировать, мы можем надеяться реконструировать историю эволюции Вселенной. Эта надежда побуждает космологов к размышлениям, вызывает строительство больших телескопов и заставляет наблюдателей работать холодными зимними ночами. Эта надежда не напрасна.

Аллан Сандидж

Две вещи заставляют меня подозревать, что Высший разум существует и что иногда его дух вселяется в гениальных людей. Это существование такой музыки, как «Прелюды» Листа, Четвертый концерт Бетховена, Шестая симфония Чайковского... Но это также и способность человека начертать формулы, описывающие явления, неизмеримо далекие от всего, что дано нам в непосредственных ощущениях, — и при этом формулы, непреложные следствия из которых в конце концов претворяются в предметы и процессы, без которых уже невозможна наша повседневная жизнь.

Способность человека описать формулами Вселенную в целом кажется божественным даром. Это предельно трудная задача, и только немногие специалисты способны разбираться в этих формулах и тем более сочинять (или открывать?..) их. Но следствия можно проверить астрономическими наблюдениями, результаты которых, в свою очередь, ставят перед теоретиками новые вопросы.

Расширение Вселенной является важнейшим и самым неожиданным из всех открытий астрономии. Испокон веков философы были уверены в том, что Вселенная в целом вечна и неизменна. Уравнения общей теории относительности, написанные в 1916 г., однако, допускали нестатичность Вселенной, и чтобы избежать этого, А. Эйнштейн ввел в них добавочный

член, названный впоследствии космологической постоянной. После работ А. А. Фридмана, Ж. Леметра, М. Хьюмаса, Э. Хаббла и В. де Ситтера необходимость в этом члене отпала — Вселенная действительно оказалась нестатичной, расширяющейся.

Как вспоминал позднее Г. Гамов, в разговоре с ним Эйнштейн назвал введение космологической постоянной своей самой грубой ошибкой. Однако теперь мы понимаем, что ошибочным было лишь приращение этой постоянной значения, необходимого для статичности Вселенной. (Кажется, Эйнштейн первоначально счел результаты Фридмана ошибочными именно потому, что они противоречили традиционным представлениям о вечности и неизменности мира.) В целом же предположение Эйнштейна, вытекавшее из самых общих мировоззренческих убеждений, оказалось в принципе правильным. Существование некоей силы, наряду с обычным тяготением управляющей динамикой Вселенной, было недавно доказано. Это крупнейшее достижение в астрономии и космологии после 1965 г., и нельзя не рассказать о том, как оно было получено, хотя проблемы космологии предельно трудны для изложения.

Здесь мы можем лишь весьма поверхностно рассказать о некоторых астрономических аспектах ситуации. Многие результаты будут приводиться без пояснений. Впрочем, речь идет о крайне сложных вопросах, и даже специалисты-космологи не всегда могут понятным образом объяснить некоторые свои выводы. Вспоминается известный рассказ об ученике Декарта, который никак не мог усвоить доказательства некоей теоремы. В конце концов его осенило — мсье Декарт, вы дворянин и я дворянин, так что я должен поверить вам на слово! Автор — внук рабочего и крестьянина, но И. С. Шкловский сказал ему при последней встрече — вы всегда мне казались образцом русского интеллигента, и наверно, потомственного... Миль пардон, вернемся к теме.

* * *

Модели наблюдаемой Вселенной Фридмана—Леметра, основанные на общей теории относительности, при космологической постоянной, равной нулю, допускают решения двух типов. Согласно первому, расширение Вселенной будет продолжаться неограниченно. Во втором варианте расширение замедляется все больше и наконец сменяется сжатием; красное смещение сменится синим. Допускалась возможность, что после достижения «сингулярности» — состояния предельно большой плотности — снова начнется расширение. Считается, что и в этом варианте циклы расширения и сжатия Вселенной не могли продолжаться бесконечно в прошлом. Он не спасал теорию от вывода о том, что вся Вселенная в прошлом была стянута в ничтожно малый объем чудовищной плотности. Формально, если идти по оси времени назад, то плотность $\rho \rightarrow \infty$. При плотностях $\rho > 10^{93}$ г/см³ современная теория бессильна, и мы не знаем, была ли до этого состояния сингулярности эпоха сжатия Вселенной, или же вопрос о том, что было раньше, вообще нельзя ставить,

и понятие о непрерывном пространстве-времени при таких плотностях неприменимо, лишено физического смысла.

При космологической постоянной, равной нулю — что долго считалось само собой разумеющимся и не оговаривалось специально, — судьба Вселенной зависит от критической плотности, определяемой постоянной Хаббла (т. е. шкалой расстояний) и данными о массе вещества в единице объема (о проблеме ненаблюдаемого вещества, скрытой массы, будет речь отдельно). При плотности, равной критической, пространство Вселенной плоское (эвклидово) и его расширение продолжается неограниченно; если плотность меньше критической, Вселенная также будет расширяться вечно, а если больше критической — расширение сменится коллапсом. Однако при наличии космологической постоянной судьба Вселенной уже не связана однозначно с кривизной пространства.

Выбор между космологическими моделями можно сделать при сравнении с наблюдениями теоретических зависимостей между красным смещением и модулем расстояния далеких объектов: при больших красных смещениях должны появиться особенности, позволяющие понять — ускоренно, равномерно или замедленно идет расширение Вселенной. Они же в принципе могут дать ответ на вопрос, необходимо ли введение космологической постоянной.

Основная трудность в применении этого способа связана с необходимостью иметь надежные данные о максимально далеких объектах с известной светимостью, а также в определении этой светимости и тем самым расстояний. Конечно, наблюдаемый блеск должен быть освобожден от поглощения света. Долгое время единственными объектами, более или менее удовлетворяющими этим требованиям, оставались ярчайшие галактики в богатых скоплениях. В первом приближении их светимость можно считать одинаковой. Однако оставались серьезные проблемы, связанные, в частности, с тем, что наиболее далекие галактики мы видим на миллиарды лет более молодыми, чем галактики наших окрестностей. Их интегральные характеристики вследствие эволюции звездного населения могут существенно отличаться от характеристик соседних с нами галактик. Для решения космологической проблемы нужно было знать состав звездного населения галактик и его эволюционную историю, особенно для гигантских эллиптических галактик, которые обычно являются самыми яркими в скоплениях. Только недавно стало выясняться, что гораздо лучшими стандартными свечами могут служить Сверхновые типа Ia. Именно данные о положении далеких Сверхновых на диаграмме «красное смещение—блеск», которые начали появляться к 1998 г., и привели к современной революции в космологии.

Считалось, что диаграмма «красное смещение—расстояние» для далеких галактик указывает на замедление расширения Вселенной и отвергает альтернативную космологическую модель стационарной Вселенной. Эта модель была основана на убеждении, что крупномасштабная структура Вселенной одинакова везде и во всех направлениях — Вселенная однородна и изотропна. Эту концепцию выдвинули в 1948 г. Г. Бонди,

Т. Голд и Ф. Хойл. «Совершенный космологический принцип» теории стационарной Вселенной гласит, что Вселенная одинакова не только везде, но и всегда. Требование постоянства характеристик Вселенной как в пространстве, так и во времени означает, что плотность ее, несмотря на расширение, должна быть постоянной, и, следовательно, должно непрерывно возникать новое вещество. «За двадцать лет, — с горечью говорил в 1968 г. Фред Хойл, — я ни разу не смог заставить моих друзей-астрономов понять, что же говорится в этой теории, — отчасти, несомненно, из-за неясности моего изложения, но частично также из-за эмоциональной атмосферы, которая, к несчастью, всегда мешала обсуждению теории». Действительно, большинство физиков и астрономов не приняло концепцию стационарной Вселенной, поскольку против нее говорят наблюдательные данные и ее не удалось согласовать с физикой элементарных частиц. Однако красота этой теории бесспорна. Вечно обновляющаяся Вселенная бесконечна во времени и в пространстве, нет особых точек (сингулярности), из ядер галактик поступает новое вещество, обеспечивающее постоянство средней плотности.

Определенную возможность для выбора между стационарной и эволюционной космологией дает сравнение данных об очень удаленных и близких объектах. С точки зрения стационарной модели, далекие и близкие области вечной Вселенной ничем не должны отличаться, в достаточно большом объеме пространства должны быть одинаковые наборы объектов всех возрастов. Но в релятивистских эволюционирующих моделях далекие объекты должны обладать другими характеристиками, ибо все они видны нам более молодыми — из-за конечной скорости распространения света. Наблюдения, особенно радиогалактик, это подтверждают.

Тяжелым ударом для сторонников стационарной модели явилось обнаружение в 1965 г. теплового изотропного радиоизлучения, названного И. С. Шкловским реликтовым, — дошедшего до нас отзвука первичного взрыва, начальных стадий расширения Вселенной. Первое четкое предсказание его существования было сделано Г. А. Гамовым еще в 1940-х гг. — в «горячей» модели ранней Вселенной.

В начале расширения Вселенной вещество непрозрачно для излучения; его температура в первые доли секунды расширения превышает 10^{10} К. Через несколько сотен тысяч лет после начала расширения, когда плотность Вселенной уменьшилась и была лишь в миллиарды раз выше современной, вещество стало прозрачным для излучения. Тогда энергия этого излучения соответствовала температуре в 3 000–4 000 К. После этого вследствие расширения Вселенной длина волны увеличилась, энергия реликтового излучения упала, и его температура соответствует теперь 3 К.

Это изотропное радиоизлучение было открыто случайно в 1965 г. — инженерами американской телефонной компании «Белл», хотя А. Г. Дорошкевич и И. Д. Новиков в 1964 г. указали, что поиски такого излучения в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн могут дать средство проверки модели «горячей» протовселенной, предложенной Г. Гамовым. Открытие реликтового радиоизлучения — очень серьезный аргумент

в пользу расширения Вселенной из сверхплотного состояния. Лучших объяснений трехградусного радиоизлучения не существует.

Заметим, что астрономы дважды упускали возможность открыть реликтовое излучение до 1965 г. Еще в 1941 г. Э. Мак-Келлар отметил, что для возбуждения открытых им межзвездных линий молекул CN нужна температура около 2,3 К, но что возбуждает эти молекулы, оставалось неясным до открытия реликтового излучения. Затем Т. А. Шмаонов, аспирант С. Э. Хайкина в Пулковке, испытывая построенный им радиотелескоп на волне в 3 см, обнаружил однородное фоновое излучение с температурой около 2–8 К. Точность оценки этой температуры была невысока и на работу тогда не обратили внимания, хотя публикация (в техническом журнале) была в 1957 г. Если бы И. Д. Новиков и А. Г. Дорошкевич знали о ней в 1964 г., честь открытия реликтового радиоизлучения принадлежала бы нашей стране...

Впрочем, ученики Я. Б. Зельдовича придерживались тогда, как и он сам, «холодной» модели Вселенной, а реликтовое излучение предсказано было «горячей» моделью, в рамках которой и водород, и гелий возникают на самых ранних стадиях расширения Вселенной (а более тяжелые элементы — при ядерных реакциях внутри звезд). Согласно же холодной модели, гелий вырабатывался в звездах, и его содержание в самых старых звездах должно быть невелико. К сожалению, Я. Б. Зельдович не придал должного значения словам М. С. Фролова, который убеждал его в том, что без высокого содержания гелия переменные звезды типа RR Лиры не могли бы пульсировать — а эти звезды населения II, бесспорно, являются старейшими...

* * *

После открытия реликтового излучения в наблюдательной космологии вплоть до 1998 г. не было сравнимых по значению событий. Чисто астрономические работы, долгое накапливание наблюдательных данных привели в том году к выводам, которые изменили лицо космологии. Предпосылкой этого неожиданного развития было постепенно распространявшееся убеждение, что Сверхновые типа Ia имеют не только очень высокую (абсолютная величина –19), но и, как показали наблюдения этих звезд в достаточно близких галактиках с известным расстоянием, почти одинаковую светимость. Точнее говоря, как обнаружил Ю. П. Псковский еще в 1970-х гг., она зависит легко определяемым образом — при наличии достаточного числа наблюдений — от скорости падения блеска. В 1990-х гг. эта зависимость была уточнена; было также показано, что по спектральным особенностям можно оценить возраст вспышки и отсюда заключить, каков был блеск звезды в момент максимума. Тем самым эти Сверхновые Ia становились той самой стандартной свечой, да еще и очень высокой светимости — блеск сверхновых в максимуме сравним с блеском целой галактики, — которая была так нужна для решения космологической проблемы.

Попытки использовать их для этих целей начались довольно давно; первым систематическим поиском далеких сверхновых с «космологической» сверхзадачей была работа датских астрономов на 1,5-метровом телескопе Европейской Южной обсерватории, результаты которой были опубликованы в 1988 г. Они были довольно неопределенными, — за два года была найдена лишь одна далекая Сверхновая типа Ia — но обещающими. Проблема состояла в трудности получения большого наблюдательного времени на больших телескопах. Комитеты, распределяющие время больших телескопов, терпеть не могли заявки на работы типа поисков, слежения, обзоров; большие телескопы ведь предназначены для изучения уникальных объектов, а не тривиального слежения за блеском или поисков новых переменных звезд...

Успех пришел к 1997 г. одновременно к двум командам. Одна из них была сформирована в 1988 г. в Национальной лаборатории им. Лоуренса в США и состояла в основном из физиков, ее возглавил С. Перлмуттер; другую команду, из астрономов, возглавил в 1994 г. Б. Шмидт, работавший на обсерваториях Маунт Стромло и Сайдинг Спринг в Австралии. Эти команды получили доступ к 4-метровым телескопам на Сайдинг Спринг и на Серро Тололо, а позднее к HST и 10-метровому телескопу Кеск; на последнем получались спектральные данные (которые, между прочим, показали, что у далеких сверхновых аналогичные спектральные изменения свершаются в $(1+z)$ раз медленнее, чем у более близких, — еще одно доказательство доплеровской природы красного смещения).

Наблюдательная стратегия была хорошо продумана — слежение велось сразу за 50–100 достаточно большими полями, содержащими порядка тысячи галактик каждое, повторные изображения получались через три недели, так что можно было построить надежные кривые блеска. Команда физиков первой объявила, в январе 1998 г., на основании данных о 42 Сверхновых, что во Вселенной доминирует сила отталкивания, и она расширяется в современную эпоху с ускорением. Затем аналогичное краткое заключение опубликовала более осторожная команда астрономов, которая, однако, первой опубликовала подробную статью. Звезд у нее было меньше, но меньше и значения ошибок. Спор о приоритете не возник, тем более что некоторые астрономы переходили из команды в команду. Нобелевский комитет будет в затруднении.

Результаты казались — некоторым и сейчас кажутся — невероятными. Далекие сверхновые оказались систематически более слабыми, чем ожидалось, они уклонялись вверх от линейного закона Хаббла (рис. 17.1); это означало, что Вселенная расширяется с ускорением и космологическая постоянная не равна нулю, а имеет положительный знак. С. Перлмуттер рассказывает, что после одного из его первых выступлений с сообщением об открытии, один знаменитый физик-теоретик заметил, что эти наблюдательные результаты должны быть ошибочными, поскольку космологическая постоянная должна быть очень близкой к нулю. Б. Шмидт сказал в 1998 г. одному журналисту, что он испытывал не только изумление, но и ужас, поскольку большинство астрономов, подобно

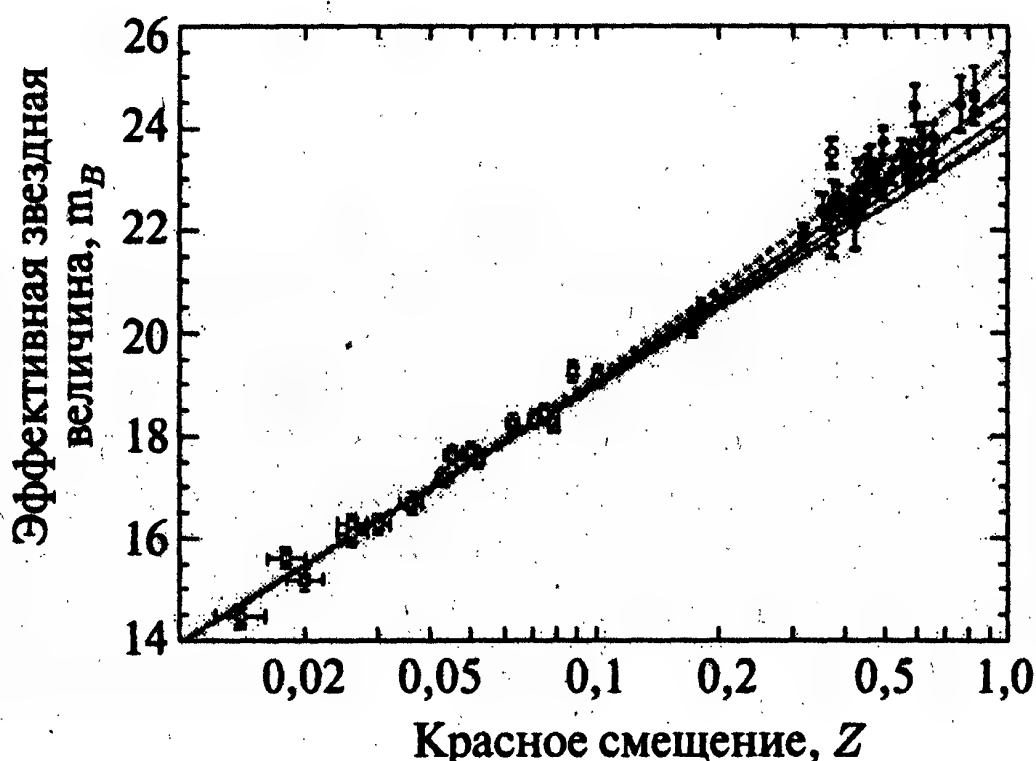


Рис. 17.1. Зависимость от красного смещения звездных величин в максимуме блеска для сверхновых Ia (данные Перлмуттера и др., 1998). Уклонение вверх наиболее далеких Сверхновых от прямой линии (линейного закона Хаббла) означает, что на расстоянии — и при возрасте — этих Сверхновых Вселенная расширяется ускоренно

ему самому, чрезвычайно скептически относится к не ожидаемым теорией результатам.

Однако о надежности результатов говорит близость независимых выводов двух команд, полученных по практически неперекрывающимся (лишь 2 общих объекта) выборкам Сверхновых. Обе команды тщательно рассмотрели все возможные источники ошибок, в первую очередь возможности неточного учета поглощения света и систематического отличия характеристик далеких — следовательно, возникших из более молодых звезд — и близких Сверхновых.

Особых оснований для такого отличия нет. Вспышки Сверхновых типа Ia (классификация типов Сверхновых основана на спектральных характеристиках и форме кривых блеска) происходят в тесных двойных системах, один из компонентов которых является белым карликом, аккрецирующим вещество от второго члена системы. Масса этого карлика медленно растет вследствие аккреции, но она не может превосходить предельно большого для белого карлика значения в 1,4 солнечных. Когда этот предел достигается, происходит взрыв, и остаток звезды становится, по-видимому, нейтронной звездой. (Не потому ли так похожи характеристики всех нейтронных звезд — тогда большинство из них надо считать именно результатом такой эволюции тесных двойных систем.) Понятно, что схожесть характеристик взрывов Сверхновых Ia определяется одинаковостью масс их прогениторов. Эти характеристики могут лишь слабо зависеть от предыстории двойной системы (от различий химического состава и скорости вращения (?)) и вряд ли зависят от ее возраста.

Приведем теперь численные результаты, опубликованные в статье группы астрономов (А. Риесс и др.), исследовавших далекие Сверхно-

вые, в 1998 г. Принимая полную плотность Вселенной равной точно 1 (т. е. равной критической), для плотности вещества они нашли значение $0,24$ с ошибкой, составляющей $\pm 0,10$, и значит, плотность «темной» энергии, ответственной за ускоренное расширение Вселенной, составляет $0,76 \pm 0,10$. (Если же последняя плотность равна нулю, плотность материи должна составлять $-0,35$, что не имеет физического смысла.) В этом случае при постоянной Хаббла 65 (км/с)/Мпк (а меньше ее сделать трудно) возраст Вселенной составляет 14 млрд лет, что на миллиард лет больше возраста старейших шаровых скоплений. Если данные о Сверхновых рассматривать совместно с измерениями флуктуаций фона реликтового излучения, полная плотность Вселенной получается равной $0,96 \pm 0,26$ (в единицах критической плотности).

В целом измерения анизотропии реликтового фонового излучения приводят к выводу, что пространство Вселенной плоское, ее плотность в единицах критической составляет $1,0 \pm 0,2$. Из тех же данных в соединении с оценками доли барионов в полной массе скоплений галактик и первичного содержания дейтерия также следует, что полная масса вещества во Вселенной составляет, в долях критической, около $0,3$. Это является независимым, хотя и менее надежным подтверждением результата, полученного по Сверхновым звездам; плотность «темной энергии» тогда вновь получается близкой к $0,7$.

* * *

Доля критической плотности, приходящаяся на барионы, оценивается по данным о химическом и изотопном составе газовых облаков с помощью теории первичного нуклеосинтеза. Согласно этой теории, в первые минуты расширения Вселенной в ее горячем и плотном тогда веществе происходили термоядерные реакции, определившие состав первичного вещества. Относительные количества образовавшихся тогда лития, изотопа водорода дейтерия и изотопа гелия связаны известными теоретическими соотношениями с барионной плотностью Вселенной. Принципиальная трудность состоит в оценке степени загрязнения вещества газовых облаков выбросами из недр звезд, в которых и поныне идут процессы нуклеосинтеза. Это происходит при взрывах сверхновых звезд и при рассеянии в пространстве вещества планетарных туманностей — обширных оболочек вокруг старых звезд небольшой массы.

Особенно удобен для таких измерений изотоп гелий-3, поскольку этот инертный газ не входит в химические соединения. Однако, согласно теории эволюции звезд, он вырабатывается в недрах маломассивных звезд и, следовательно, может поступать из них в межзвездное пространство и «загрязнять» газовые облака. Действительно, в некоторых планетарных туманностях найдено высокое содержание гелия-3. Наблюдая линию этого изотопа на волне $3,46$ см, Т. Бания и др. нашли в 2002 г., после 20 лет работы, что доля этого легкого изотопа гелия по отношению к водороду не изменяется с расстоянием от центра Галактики, а также и со временем — в древнем веществе Солнечной системы она такая же, как

и в межзвездных облаках в наши дни. Поскольку старых маломассивных звезд намного больше ближе к центру Галактики, постоянство содержания гелия-3 является сильным аргументом за его «космологическое» происхождение. По всей видимости, этот изотоп, производимый в недрах звезд, сгорает во внешних их слоях, куда он поступает вследствие перемешивания вещества при быстром вращении звезд. Имеющиеся данные показывают, что лишь 10 % звезд вращаются для этого недостаточно быстро.

В результате Бания и др. заключили, что при постоянной Хаббла 72 (км/с)/Мпк, наиболее вероятное значение барионной плотности Вселенной составляет, в долях критической плотности, 0,04. Мы можем теперь привести сводку определений относительного вклада разных компонентов в полную плотность массы/энергии Вселенной, которая в целом равна критической и принимается за 1 (см. M. S. Turner, электронный препринт astro-ph/0207297). Эта критическая плотность примерно равна 10^{-29} г/см³.

Цифры в процентах таковы (в скобках приведена оценка ошибки определения):

- светящиеся звезды: 0,5;
- барионы: 4 (1);
- небарионная темная материя: 29 (4);
- нейтрино: 0,1–5;
- темная энергия: 66 (6).

Итак, видимые, еще не потухшие и не провалившиеся в черные дыры звезды, наши любимые звезды, составляют не более 1 % массы Вселенной; барионов лишь 4 %, и большая их доля приходится на горячий газ, наблюдаемый в рентгене в скоплениях галактик. А еще недавно мы считали звезды самыми важными объектами. Впрочем, почти все наши знания о Вселенной, в том числе и о ее невидимой львиной доле, пришли именно от наблюдений звезд...

* * *

О небарионной темной материи надо сказать отдельно. Эта материя — ветеран обнаружения невидимого. Первые признаки ее существования были замечены еще в 1930-х гг., но правильная их интерпретация появилась лишь в 1970-е гг. и долго оспаривалась. В 1933 г. Ф. Цвикки обнаружил, что дисперсия скоростей галактик в скоплении Волос Вероники составляет около 1 000 км/с. В предположении гравитационной связанности этого скопления отсюда следовало очень высокое отношение массы к светимости для этих галактик, на порядок большее, чем следовало бы ожидать, исходя из их звездного состава. Аналогичный результат был получен затем для скопления галактик в Деве. Цвикки не мог найти объяснений этой странности. Однако на проблему не обращали внимания до 1958 г., когда В. А. Амбарцумян предположил, что высокие скорости галактик в скоплениях объясняются тем, что они распадаются подобно

звездным ассоциациям. Некоторое время это предположение пользовалось успехом, однако вскоре стало ясно, что оно ведет к еще большим трудностям.

Большинство эллиптических галактик, возраст звезд в которых порядка 12–14 млрд лет, находится в скоплениях. Однако принимавшиеся тогда значения масс галактик и их высокие скорости приводили к выводу, что скопления гравитационно не связаны и намного моложе. Открытие Цвикки получило название «вириального парадокса». Согласно так называемой теореме о вириале, в устойчивой гравитационно связанной системе потенциальная энергия (определяемая взаимным тяготением ее членов) должна быть равна по абсолютной величине удвоенной кинетической энергии системы. Масса скоплений галактик, определяемая по этой формуле в предположении их связанности, как правило, оказывается в десятки раз больше суммарной массы входящих в состав скопления галактик. (Массы же индивидуальных галактик определялись по их кривым вращения, по ширине линий в их спектрах, определяемой дисперсией скоростей звезд внутри них, и из косвенных соображений, по зависимости «масса—светимость» для звезд.) Необходимо было либо допустить наличие в скоплениях скрытой массы, либо считать скопления нестабильными. Однако предположение о распаде скоплений, как показал И. Д. Караченцев по данным об их размерах и дисперсии скоростей галактик в них, ведет к срокам жизни скоплений не более 1 млрд лет, что много меньше возрастов большинства звезд. Это ставило под сомнение теорию звездной эволюции, для чего других оснований не было.

Само существование скоплений, несмотря на их нестабильность, приводило к выводу о продолжающемся в них и сейчас образовании галактик — очевидно, из вещества, не имевшего массы на предгалактической стадии, иначе скопления следовало бы считать достаточно массивными и стабильными... В. А. Амбарцумян и его немногочисленные сторонники находились в логическом тупике, не признавая, что эта идеология приемлема как заслуживающая обсуждения гипотеза лишь в контексте стационарной космологии и продолжающегося рождения вещества. Вместе с предположением об образовании звезд из сверхплотного вещества, об особой роли ядер галактик, якобы порождающих окружающую галактику, эти представления получили название «бюраканской концепции»; некоторые советские философы настойчиво противопоставляли ее взглядам большинства астрономов. Фактически они утверждали, что происхождение и звезд, и галактик все еще неизвестно.

Однако вскоре начали появляться признаки того, что ненаблюдаемое гравитирующее вещество имеется и в индивидуальных галактиках. Это в первую очередь следовало из открытия (по наблюдениям нейтрального водорода), что высокие скорости вращения дисков галактик сохранялись и на очень больших расстояниях от центра, там, где звезд уже не было видно. В 1974 г. Дж. Острайкер и Дж. Пиблс и независимо от них Я. Эйнасто и его сотрудники, анализируя зависимости скоростей вращения галактик от расстояния до их центров и плотность вещества в их дисках,

пришли к выводу о существовании у галактик обширных корон из темного вещества, в которых может заключаться около 90 % массы галактики. Массы галактик следовало увеличить на порядок. Этого еще маловато для гравитационной связанности большинства скоплений, которая, однако, следует из скоростей движения горячего газа, в те же годы обнаруженного при изучении скоплений галактик в рентгеновском диапазоне. Этого газа также еще недостаточно для обеспечения связанности скоплений, но дисперсия его скоростей соответствует скоростям движений галактик в скоплениях, указывая на то, что в них газ и галактики образуют единую гравитационно-связанную систему. Вывод о наличии в галактиках и в их скоплениях ненаблюдаемой скрытой массы, на порядок превышающей массу звезд, вскоре стал общепринятым.

Природа ее носителей неизвестна до сих пор. Долгое время кандидатом на эту роль считалось нейтрино, но сейчас ясно, что хотя эти частицы и имеют массу покоя, она слишком мала. Наиболее вероятными претендентами являются слабо взаимодействующие массивные частицы (WIMP)¹⁾, которые еще предстоит открыть; эксперименты по их обнаружению в космическом пространстве все еще безуспешны. Для этого, как и в случае нейтрино, приходится залезать под землю. Экспериментаторы пытаются измерить годовые вариации в частоте некоторых ядерных превращений, стимулированных, возможно, столкновением с WIMP, приходящими из глубин Галактики. Вращение Земли вокруг Солнца модулирует частоту наших встреч с этими частицами.

Нельзя пока отрицать и возможность того, что эта масса заключена в черных дырах; прочие компактные объекты, вроде коричневых карликов, звезд с массами, недостаточными для начала горения водорода, тоже не исключаются. Это общая проблема для астрономии и для физики. Без ее решения трудно строить теории образования галактик.

* * *

Природа темной энергии, доминирующей во Вселенной и вызывающей ее ускоренное расширение, также является дискуссионной. Многие авторы считают необходимым ввести новую сущность, «квинтэссенцию», новое физическое поле, для которого эффективная гравитационная плотность отрицательна и которое, следовательно, способно создать антигравитацию, что ведет к ускорению расширения Вселенной. Однако не следует вводить новые сущности без необходимости. Таким же свойством отрицательного давления обладает космический вакуум, который присутствует повсюду. Он фигурирует и в физике микромира, представляя собой наинизшее энергетическое состояние квантовых полей. (Заметим, что из этого наинизшего состояния никакой энергии извлечь нельзя по определению, так что многочисленные — иногда запатентованные — предложения такого рода бессмысленны.) Именно в нем

¹⁾ Weak Interacting Massive Particles.

происходят взаимодействия элементарных частиц; реальность физического вакуума — бесспорный экспериментальный факт, проявляющийся в давно известных лэмбовском сдвиге спектральных линий атомов и эффекте Казимира. Однако плотность его энергии не поддается измерению в физическом эксперименте, и всю эту проблему относят к числу самых сложных в фундаментальной физике. Теперь астрономия дает ответ на этот вопрос, поскольку критическая плотность Вселенной известна.

Положительная плотность энергии вакуума означает, что его давление (равное плотности со знаком минус) отрицательно — таково свойство этого состояния космической энергии, наряду с постоянной во времени и всюду одинаковой, притом в любой системе отсчета, плотностью. Последнее свойство позволило астрономам представить убедительные аргументы в пользу того, что космическое отталкивание обусловлено именно плотностью энергии вакуума, одновременно разрешив глубокий парадокс, существование которого странным образом замечали лишь немногие астрономы.

Дело в том, что согласно теории, космологическое расширение происходит по линейному закону в однородном и изотропном мире. Хаббл располагал данными лишь до расстояний (в современной шкале) лишь около 20 Мпк и нашел, что скорости удаления галактик линейно зависят от расстояния, хотя мы знаем теперь, что однородность и изотропность наступают лишь на масштабах 100–300 Мпк. На этих расстояниях постоянная Хаббла имеет ту же величину, что и на расстояниях 1,5–2 Мпк; как заключил в 1999 г. А. Сендидж, локальная скорость расширения совпадает с глобальной с точностью не хуже 10 %. Аналогичный вывод следует из результатов работ И. Д. Караченцева и его группы в САО. Похоже, что никто раньше не обращал внимания на странность этого обстоятельства, которое можно назвать парадоксом Сендиджа. Разрешить его Сендидж не мог и заключил, что «мы так и остаемся с этой тайной»...

Согласно А. Д. Чернину, П. Теерикорпи и Ю. В. Барышеву (2001 г.), парадокс объясняется свойствами вакуума и тем, что именно он определяет динамику Вселенной. Крупномасштабная кинематика галактик — расширение Вселенной — является однородной, регулярной, тогда как их пространственное распределение весьма иррегулярно в тех же объемах. Это означает, что крупномасштабная динамика галактики управляется вакуумом, плотность которого начинает превышать плотность вещества уже с расстояний порядка 1,5–2 Мпк от нас. Плотность его одинакова везде, и именно она задает темп расширения — постоянную Хаббла. В богатых и плотных скоплениях галактик хаббловское однородное расширение начинается с больших масштабов, порядка 10–30 Мпк. Вакуум не может служить системой отсчета, он всегда и везде одинаков, покой и движение относительно него не различимы; его динамический эффект не зависит ни от движений, ни от распределения галактик в пространстве. Это дает ответ на вопрос, почему на значениях постоянной Хаббла, определяемых по разным выборкам, не сказывается ни движение нашей Местной системы по направлению к скоплению в Деве, ни движение окрестных

скоплений галактик по направлению к сверхскоплению, известному как Большой аттрактор.

Таким образом, исходя из объяснения ускоренного расширения Вселенной наличием космического вакуума, Чернин и его коллеги нашли естественное объяснение парадокса Сандиджа. Концепция же квинтэссенции остается пока придуманной *ad hoc* — она предложена потому, что даваемая астрономическими наблюдениями плотность энергии вакуума несовместима с убеждениями многих физиков. Есть надежда, что выбор между двумя возможными формами «темной энергии» позволят сделать начатые недавно измерения искажений формы галактик в скоплениях, связанных с эффектом гравитационного линзирования.

* * *

Итак, все сходится к тому, что астрономы сумели измерить величину, о знании которой давно мечтали физики, — плотность энергии вакуума. Результат оказался неожиданным. Ожидалось, что такая фундаментальная величина должна иметь какое-то выделенное значение, — либо нулевое, либо определяемое планковской плотностью. Однако наблюдаемое значение плотности меньше планковского на 123 порядка — и все же оно отнюдь не нулевое! Это ставит трудные проблемы перед фундаментальной физикой. Выделенные плотности, соответствующие энергетическим масштабам «великого объединения» сильных и электрослабых взаимодействий, равно как и этим взаимодействиям по отдельности, все еще на много порядков выше значения плотности вакуума. Похоже, что нужна новая теория.

В обзорной статье А. Д. Чернин²⁾ приводит аргументы в пользу предположения, что природа вакуума должна быть как-то связана с физикой электрослабых процессов при возрасте мира около 10^{-12} с. В эпоху, когда температура расширяющегося космоса упала до соответствующего этим процессам значения, возможно, и произошел последний по времени скачок (фазовый переход) в состоянии первичного вакуума, который и обусловил современное значение плотности космического вакуума.

Первичный вакуум — это понятие в современных теориях, означающее очень раннюю, до-фридмановскую стадию эволюции Вселенной. Предполагается, что его плотность должна быть близка к планковской плотности. Никаких наблюдательных данных, подтверждающих его существование, пока нет. Флуктуации первичного вакуума, по мнению многих теоретиков, дают начало множеству вселенных с самыми разными значениями физических констант в них. Та из этих вселенных, параметры которой (на современном этапе!) совместимы с жизнью, является нашей Вселенной...

Открытие ускоренного расширения Вселенной вдохнуло новую жизнь и в стационарную космологию. Дж. Нарликар, Р. Вишвакарма

²⁾ Чернин А. Д. // УФН. Т. 171. № 11. С. 1153, 2001.

и Дж. Бербидж, сотрудники и союзники покойного Ф. Хойла, пришли к заключению в 2002 г., что данные о далеких сверхновых согласуются с ее предсказаниями. Сила отталкивания в этой космологии генерируется тем же самым С-полем, которое создает новое вещество в сильном гравитационном поле уже существующих объектов, например, черных дыр всевозможных масс (вспомним мнение Х. Арпа о природе квазаров). В рамках стационарной космологии вывод о том, что расширение Вселенной должно быть именно ускоренно, был сделан еще в 1948 г., и эти авторы не без ехидства замечают, что тридцать лет назад диаграммы «красное смещение—расстояние галактик» указывали на замедленное расширение Вселенной и рассматривались как опровержение стационарной космологии. Реликтовое излучение Нарликар и др. объясняют рассеянием света звезд на межгалактических металлических частицах пыли, образующейся при взрывах сверхновых. Поглощение света на этой пыли может быть ответственно и за большие отклонения некоторых сверхновых на графике «расстояние—красное смещение».

Поразительный пример полувекковой стойкости в отстаивании своего мнения против подавляющего большинства! Напомним, что за плечами Хойла, Бербиджа, Арпа полвека работы в астрономии и множество первостепенных и бесспорных достижений, помимо выдвижения новых идей, из которых одни подтвердились, а другие кажутся экстравагантными. Напомним, что Ф. Хойл не только написал «Черное облако», но и предсказал, что у ядра атома углерода должен быть энергетический уровень в 7,82 МэВ. К мнению людей, доказавших свою способность к интуитивным прозрениям, необходимо внимательно прислушиваться. (Но они же обычно не в ладах с общим мнением и с научным начальством. Хойл не получил Нобелевской премии, Шкловский не стал академиком...)

Окончательные данные о характере расширения Вселенной будут вскоре получены при наблюдениях большего количества Сверхновых типа Ia, в том числе и при больших красных смещениях. Эта задача из рутинной превратилась едва ли не в самую актуальную не только для астрономии, но и для физики. Заметим, что концепция вечного первичного вакуума, флуктуации которого порождают вселенные, в некотором смысле соответствует той же философской идее вечной самоидентичности Мироздания в целом, что и концепция стационарной Вселенной.

Похоже, что астрономы в итоге XX века оказались у разбитого корыта? Но нет, это ведь они доказали, что физика занималась лишь несколькими процентами содержания Вселенной, — и они же дали уникальные ограничения на природу темной материи и плотность вакуума, чего физика, а точнее, негравитационная физика, в принципе бессильна сделать.

Некоторые специалисты полагают, что в настоящее время вопрос о том, понимаем ли мы Вселенную в целом, является открытым. Поразительным является то обстоятельство, что более 95 % ее вещества/энергии открывается нам лишь в астрономических наблюдениях и лишь косвенным образом. Трудно привыкнуть к мысли, что всего 20–30 % плотности

энергии/массы Вселенной обусловлено веществом (и в основном неизвестно каким), а большая часть принадлежит бог знает чему — вакууму и/или новому физическому полю («квинтэссенции»). Но это не поражение науки, а свидетельство ее неисчерпаемых возможностей. Пути решения проблем известны, старое знание не отрицается; фридмановский этап расширения Вселенной существует во всех моделях. На этот этап приходится практически все время существования нашей Вселенной, долгие миллиарды лет — разве что за вычетом первоначальных ничтожных долей секунды. Общая теория относительности, квантовая хромодинамика, единая теория электрослабых взаимодействий, теория нуклеосинтеза и эволюции звезд только укрепили свои позиции. Да, взобравшись на вершину, мы увидели новые пики. Но это не поражение и не кризис науки, а ее очередной триумф. Не исключено, что дальнейшее развитие покажет, что масштабы его сравнимы с рождением теории относительности и квантовой механики.

Кто может теперь усомниться в том, что астрономия снова, как во времена Галилея и Ньютона, становится лидером естествознания. «Будущее принадлежит астрофизике» — писал Л. А. Арцимович в 1972 г. Это будущее пришло.

РАЗУМ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Вечное молчание этих бесконечных пространств ужасает меня.

Блез Паскаль

Ученые воспитаны на «игре с Природой», которая никак не является сознательным противником; они не допускают возможности, что за исследуемым объектом на самом деле стоит Кто-то и что понять объект можно лишь в той мере, в какой удастся постичь ход рассуждений этой — совершенно нам неизвестной — сознательной первопричины.

Станислав Лем

Можно ли поверить, что во всей этой огромной Вселенной только мы, разумные существа на Земле, понимаем, где мы живем? Однако же единственный достоверный факт в проблеме поисков внеземного разума — это факт нашего собственного существования. Это простой факт, но огромного значения, подобно тому, как величайший секрет атомной бомбы состоял просто в том, что ее МОЖНО сделать. Разум МОЖЕТ существовать во Вселенной! Однако мы дошли до ее края, мы поняли механизм звезд, обнаружили вокруг них планеты, нашли, кажется, следы жизни на метеоритах, прибывших с Марса, — но где же следы разумной жизни? Внутри нашего горизонта познания мы не нашли признаков существования другого разума, помимо земного. Проблема бросает вызов современному научному знанию. Либо оно существенно неполно, либо мы очень многого еще не понимаем в механизме интеллекта — а следовательно, и себя самих. Но если мы одни — это тем более непонятно...

Средства поисков возможных братьев по разуму предлагались давно и каждый раз соответствовали своему времени. Это, конечно, не только естественная, но и единственно возможная ситуация, однако при этом почти всегда предполагалось, что у внеземной цивилизации те же технические возможности, что и у нас.

В XIX веке предлагалось рисовать знаки на земной поверхности с помощью гигантских просек в лесах или каналов, которые можно было бы заметить с Марса. Были, однако, и предложения, опередившие свое время. Л. М. Гиндилис обнаружил недавно, что российский ученый финского происхождения Э. Неовиус в 1876 г. опубликовал в Гельсингфорсе (Хельсинки) книгу «Величайшая задача нашего времени», в которой предлагался совершенно конкретный и реальный проект связи с обитателями планет Солнечной системы с помощью световых сигналов. Неовиус не только показал техническую возможность осуществления такой связи, но и рассмотрел семантические проблемы контакта. Он построил язык для космической связи на принципах математической логики, опередив в этом отношении язык «Линкос» Фройденталю на несколько десятилетий. Неовиус рассмотрел и экономические аспекты проекта и, ясно сознавая, что затраты на его осуществление не под силу одной стране, предложил международное сотрудничество в этой области. В то время просвещенная Европа зачитывалась книгами К. Фламариона о множественности обитаемых миров, но работа Неовиуса осталась незамеченной. Он на столетие опередил свое время.

Считается, что современная научная постановка проблемы связи с внеземными цивилизациями (ВЦ) относится к 1959 г., когда в журнале *Nature* была опубликована статья Дж. Коккони и Ф. Моррисона, в которой они проанализировали возможности радиосвязи с обитателями ближайших звезд. Они показали, что если использовать близкую к нашей технику связи, то мы при наших средствах способны обнаружить их сигналы. Это стимулировало начало работ по поиску сигналов от ВЦ.

Первые эксперименты по поиску сигналов ВЦ были проведены Ф. Дрейком в 1960 г. на Национальной радиоастрономической обсерватории США в Грин Бэнк. С тех пор в различных странах проведены десятки экспериментов в различных диапазонах электромагнитных волн, разрабатывались различные стратегии и методики поиска. Наблюдения продолжаются по сей день — а результата нет.

Точнее говоря, один-единственный раз в ходе этих поисков был зарегистрирован сигнал, искусственное внеземное происхождение которого не может быть отвергнуто. 15 августа 1976 г. на радиоастрономической обсерватории университета штата Огайо был зарегистрирован на длине волны 21 см узкополосный короткий сигнал такой силы, что на регистрирующей ленте его положение было отмечено словом “wow” — «ого»! Никогда больше ничего подобного не наблюдалось, в том числе и при повторном наведении радиотелескопа на координаты этого источника. Вероятность земного происхождения такого сигнала весьма невелика, а недавно была отвергнута и еще одна возможность — усиление стационарного слабого сигнала в результате прохождения сигнала через неоднородности межзвездной среды. Наблюдения на VLA (большой системе радиотелескопов, Very Large Array) показали, что на месте сигнала “wow” в пределах ошибки координат (это сравнительно недалеко

от направления на центр Галактики) есть лишь два весьма слабых радиоисточника со вполне обычными характеристиками, которые не могли быть кратковременно усилены до такой степени. Ничего необычного, помимо плотного звездного фона Млечного Пути, не видно на этом месте и в оптическом диапазоне. Впрочем, внегалактические объекты скрыты поглощением света.

Остаются безуспешными и поиски сигналов в других диапазонах спектра электромагнитных излучений. Оптический и рентгеновский диапазоны имеют то преимущество, что темп передачи информации в них намного выше, чем в радио. А. Д. Сахаров в 1971 г. предложил использовать ядерный взрыв для получения мощной оптической и рентгеновской вспышки. По мысли А. Д. Сахарова, устройство взрывается за пределами планетной системы. Энергия взрыва трансформируется в короткий световой импульс, который можно обнаружить на расстоянии ближайших звезд.

А. Фабиан отметил в 1977 г., что модуляцию рентгеновского потока от звезд можно получить преобразованием массы в энергию с к.п.д. 10 %. Можно, например, бросать астероид на нейтронную звезду. Через 20 лет Р. Корбет предположил, что рентгеновские двойные звезды могут служить маяками ВЦ. Их мало, они яркие, высокоэнергичные; рентгеновское излучение не поглощается в межзвездной среде (в отличие от оптического) и не диспергирует (в отличие от радиоизлучения). Эти объекты интересны, их изучают все. К тому же имеется возможность модуляции этого излучения. В 1998 г. В. А. Лефевр и Ю. Н. Ефремов даже указали возможный пример искусственной модуляции рентгеновского потока у одной из таких звезд — объекта, известного как Быстрый барстер, находящегося в шаровом скоплении Liller 1.

Так или иначе, никаких надежно установленных признаков существования внеземного разума нет. Размышляя над проблемой молчания космоса, И. С. Шкловский, основоположник исследований проблемы внеземного разума в нашей стране, пришел к 1976 г. к печальному выводу о том, что отсутствие «космических чудес» означает наше одиночество во Вселенной. Однако, по всем оценкам, жизнь и разум, подобные земным, должны были бы зародиться на множестве планет у других звезд с подобными земным условиям. Это означает, что, достигнув определенной стадии развития, разум погибает, — заключил Шкловский. Действительно, для земной цивилизации возможность дать знать о себе появилась одновременно с возможностью самоуничтожения... Однажды я высказал ему идею, что надеяться можно только на случайный перехват «разговора» двух цивилизаций, и поэтому надо обращать внимание на необычные явления в диаметрально противоположных точках неба, но Иосиф Самуилович только печально улыбнулся — ведь это означало бы, что существует целых три цивилизации и находятся они на одной прямой...

Молчание космоса представляет собой важнейший научный факт. Нет никаких очевидных признаков активности сверхмогучих цивилизаций — а ведь всего через несколько миллионов лет цивилизация, пер-

воначально подобная нашей и технологически развивающаяся с нашими современными темпами, могла бы овладеть ресурсами всей Галактики. И в нашей Солнечной системе должны быть явные следы ИХ существования — где же ОНИ? Такая формулировка проблемы принадлежит итальянскому физику Э. Ферми.

Вывод, сделанный И. С. Шкловским, был печален — разум является чем-то вроде сверхспециализированного гипертрофированного приспособления, вроде клыков саблезубого тигра, сначала помогающего в борьбе за выживание, но причиняющего только вред при изменении внешних условий. Он заключил, что «став на точку зрения, что разум — это только одно из бесчисленных изобретений эволюционного процесса, да к тому же, не исключено, приводящее вид, награжденный им, к эволюционному тупику, мы, во-первых, лучше поймем место человека во Вселенной, и во-вторых, объясним, почему не наблюдаются космические чудеса».

* * *

Л. М. Гиндилис дает сводку двадцати различных причин, которые могут объяснить молчание Космоса¹⁾, четыре из которых предполагают, что мы ИХ уже наблюдаем, но не осознаем этого. Этой позиции придерживается Ст. Лем, как можно понять из высказываний, рассеянных по его книгам. Абсолютной необходимости придерживаться пессимистической точки зрения позднего Шкловского не существует.

Рассмотрим, однако, что говорит наш земной опыт и современные знания о вероятности гибели цивилизации до или вскоре после достижения нашего нынешнего технологического уровня. Эволюция жизни на Земле несколько раз приостанавливалась вследствие вмешательства космических сил, в результате которых многие или большинство видов погибало. Последний раз массовое вымирание видов произошло около 65 млн лет назад: его приписывают падению достаточно массивного астероида. Ныне мы уже способны обнаруживать астероиды достаточно далеко от Земли и можем заблаговременно попытаться отклонить его с опасной орбиты, если масса его не слишком велика. Любопытно, что средства спасения цивилизации от данной опасности те же самые, что были разработаны для войны, способной ее уничтожить. Так или иначе, опыт Земли показывает, что промежутки между глобальными катастрофами достаточно велики для того, чтобы цивилизация успела стать достаточно могущественной, чтобы их пережить или предотвратить.

Взрывы близких сверхновых или даже далеких гамма-всплесков неотвратимы и губительны, но достаточно редки, как опять же свидетельствует история Земли. Считается, что в любую минуту может вспыхнуть как гиперновая, сопровождаемая всплеском гамма-излучения, массивный сверхгигант η Киля в 2 кпк от нас, но судя по форме его оболочки, в диа-

¹⁾ См. в книге «Астрономия и современная картина мира» (М.: ИФРАН, 1996. С. 225).

грамму направленности гамма-излучения от такой вспышки Солнечная система не попадет.

Внутренние причины, воздействующие именно на цивилизованное общество, представляются более вероятными механизмами его гибели. Тотальная ядерная война снова становится сейчас одной из возможностей, как следствие вышедшего из-под контроля развития событий, первоначально спровоцированных религиозными фанатиками. Эпидемию СПИДа, оспы или новых мутантных микроорганизмов нельзя исключить, хотя более вероятной, как и в случае тотальной войны, будет лишь задержка развития, а не гибель цивилизации. Человечество неоднократно переживало эпидемии чумы, не имея никаких средств защиты. От чумы XIV века погибла почти половина населения Европы.

Другое дело — причины, так сказать, нематериальные. На Земле известно несколько погибших, некогда высокоразвитых цивилизаций; существующие ныне цивилизации, истоки которых теряются в прошлом (например, Китай) очень немногочисленны. Поскольку корни современной науки находятся в античном обществе, наибольший интерес представляют причины гибели именно античной цивилизации, которая, однако, сумела возродиться в Европе в XIV–XVII веках и породила современную науку. Каковы были причины? Чума 188 г. способствовала упадку Римской империи, но не была его причиной, как, вероятно, и нашествие варваров, или отравление свинцом из водопроводных труб и сосудов, или непроизводительность рабского труда. Какое-то изменение настроения общества, системы его ценностей привело к упадку. Александрийская библиотека была разгромлена в IV веке христианами-фанатиками, а в VIII веке дело завершили фанатики мусульманские. Афинская академия была закрыта в VI веке, но упадок греческой науки и философии начался намного раньше, без ярко выраженных внешних причин. Понадобилось полтора тысячелетия, прежде чем европейская астрономия достигла уровня древнегреческой.

Спрашивается, стало бы Возрождение возможно, если бы арабы не поддерживали уровень, достигнутый в астрономии Гиппархом и Птолемеом — в те годы, когда христианская церковь устами Козьмы Индиклоппова учила, что Земля имеет форму чемадана? Заметим, что и по сей день в ней имеются мракобесные течения, вроде т. н. «креационистской науки», утверждающей, что далее 6 000 световых лет во Вселенной ничего нет (ибо раньше ничего нигде не было), и на полном серьезе подсчитывающей емкость Ноева ковчега — ее де вполне хватает для всех сущих ныне на Земле. Правда, при этом не объясняется — как заметил Бертран Рассел — каким это образом не умеющие плавать ленивцы завелись в Южной Америке и только там...

Многое сохранившееся в Европе от античной цивилизации пережило Темные века внутри церковных структур, однако первоисточником возрождающегося научного знания были арабские халифаты в Испании. Почему в мусульманских странах собственная наука не развивалась дальше? Было ли Возрождение закономерным явлением? Означает ли

нынешнее всемирное наступление религиозных фундаменталистов и иррационалистов начало конца цивилизации или только лишь очередной остановки в ее развитии?

В последние годы наблюдаются явные признаки падения интереса к науке во всем мире. Надо ли говорить, что в нашей стране этот процесс принял крайние формы и получил государственную поддержку. На поводу у воинствующих клерикалов идут даже крупнейшие деятели науки и просвещения, ратующие за введение теологии в светские вузы, объясняющие населению, что наука пришла якобы к признанию Высшего Разума. Увы, пока мы его не нашли. Обсуждение этих вопросов увело бы нас слишком далеко от темы, но именно к столь общим и важным проблемам подводит нас обсуждение причин молчания Космоса. Это действительно проблема, охватывающая и научное, и гуманитарное знание, если не всю культуру вообще.

Утрата интереса к исследованию нового должна привести не только к невозможности развития новых технологий — которые могли бы спасти наших потомков от вызовов будущего — но, рано или поздно, и к утрате способности поддерживать и воспроизводить уже существующую технологию и медицину, что для нынешней городской цивилизации означает ее неизбежную гибель. Суждено ли такое развитие каждой цивилизации, после того, как она достигнет примерно нашего уровня? Во всяком случае, наш пример позволяет считать, что скорее всего именно утрата интереса к науке может быть причиной гибели цивилизаций.

* * *

Допустим, однако, что некоторым из них удастся пройти невредимыми сквозь критическую стадию развития, на которой находится ныне наша Земля. Поскольку возраст многих звезд, в том числе и с нормальным содержанием тяжелых элементов, на миллиарды лет больше возраста Солнца, могут существовать и цивилизации, старше земной на миллиарды лет. Даже одна такая цивилизация давно могла бы освоить всю Галактику, и мы вновь приходим к загадке молчания Космоса. Но способны ли мы понять разум, обогнавший нас хотя бы на тысячу лет? Мы ловим радиосигналы из космоса лишь в течение 40 лет, но уже работают детекторы нейтринного излучения, вступают в строй приемники гравитационного излучения. Невозможно вообразить, чем мы будем располагать через сто лет, тем более через тысячу. А через пять миллиардов?

Таким образом, молчание космоса ставит перед нами вторую принципиальную проблему — пределов земного знания. Мы обсудим ее детально в Заключение. Если предела нет, возможности более старших цивилизаций нам невозможно вообразить. Они могут управлять движением звезд (как об этом давно уже говорил Н. С. Кардашев), творить новые галактики и даже новые вселенные... Почему бы и нет, если в рамках современной физики можно уже сказать, какова должна быть энергия столкновения двух элементарных частиц, чтобы результирующая черная дыра начала расширяться в другое пространство как новая вселенная...

Таким сверхмогучим цивилизациям мы не более интересны, чем нам — муравьи; во всяком случае, мы не пытаемся вступить с ними в контакт. Но если ОНИ существуют, тогда можно полагать, что многие и многие явления, которые мы считаем естественными, на самом деле могут быть результатом — или отходами — их деятельности.

В романе «Фиаско» Станислав Лем писал: «Главный принцип наблюдения требовал считать природным явлением все, что не обнаруживало явно искусственного происхождения. Астрофизика же развилась настолько, что у нее не было недостатка в гипотезах, способных точно „перевести“ зафиксированное излучение безотносительно к его отправителям. Возникла парадоксальная ситуация: чем большим набором теорий оперировала астрофизика, тем труднее было бы намеренной сигнализации доказать свою подлинность.» Как узнать, где находится сейчас постоянно отодвигаемый горизонт познания. Это был главный аргумент Ст. Лема в его споре с И. С. Шкловским. Если в 1895 — или даже в 1935 — году мы увидели бы на Луне ядерный взрыв, даже лучшие умы человечества не сумели бы объяснить его иначе, чем извержением вулкана или падением метеорита. Таинственные сверхэнергичные всплески гамма-излучения из далеких галактик наблюдаются уже более тридцати лет, существуют десятки объясняющих их теорий — слишком много. А что, если это отголоски далеких звездных войн?... После исчерпания всех вероятных возможностей остается рассмотреть неправдоподобные. Гамма-всплески могут быть и выхлопами фотонных космических кораблей, случайно попавшими на луч зрения...

Уникальная группа дугообразных звездных комплексов наблюдается именно в той области БМО, где находится единственный в этой галактике источник повторяющихся вспышек мягкого гамма-излучения и концентрируются рентгеновские двойные звезды. И. С. Шкловский упоминал о той возможности, что необычные конфигурации, такие, как концентрические окружности, могут быть признаками деятельности другого разума. В. А. Лефевр считает возможным, что гигантские звездные дуги могут быть искусственными образованиями, — по какой-то причине их создателям понадобилось инициировать добавочное образование массивных звезд, прогениторов черных дыр, которые, по его мнению, хранят гигантский объем информации или даже сами являются носителями разума. Он отмечает наличие глубокой аналогии между характеристиками черных дыр и человеческой психической деятельности, в частности, жесткую разгороженность внутреннего и внешнего миров для обоих феноменов.

Г. М. Идлис и Н. С. Кардашев давно уже отмечали, что деятельность сверхцивилизаций может быть связана с тем, о чем мы можем пока только писать в фантастических романах, например, с уходом в другие пространства, что теоретически возможно в черных дырах. Вместо неограниченной экспансии в нашем пространстве (или, скорее, после этой экспансии — эту стадию ОНИ могли пройти за миллиарды лет до нашего появления

на свет) сверхцивилизация может сосредоточиться на изучении микромира, создании черных дыр и других вселенных. Все это звучит, конечно, как запредельная фантастика. Впрочем, по этому пути далеко прошел еще К. Э. Циолковский, который считал возможным, что разум ответственен за все вокруг. Ст. Лем говорит, — возможно, шутит — о возможности творения законов физики. Проблема существования внеземного разума плавно переходит в область научной фантастики, расплывается и исчезает...

* * *

Однако, если вовремя остановиться, остается предмет для серьезной научной дискуссии. Б. Н. Пановкин в 1970-е гг. настойчиво говорил о трудностях, которые наверняка возникнут в понимании Послания даже от цивилизации, близкой к нашей по своему развитию, просто в силу того, что «категориальный каркас выделения и формирования материальных объектов познания... определяется системой специфически „человеческого“ восприятия действительности». Возможно, что в наше время он высказывался бы более определенно. И это третья глубочайшая проблема, к которой нас подводят размышления о причинах Молчания Космоса.

По сути дела, речь идет о достоверности и однозначности результатов человеческого искания истины. Именно здесь проходит сейчас фронт борьбы с модными течениями философии постмодернизма, утверждающими, что объективной истины не существует, что результаты науки и псевдонауки суть равноправные «наборы текстов». Приходится сказать, что науке снова приходится бороться с философской позицией, которая, кажется, начинает занимать господствующие позиции в нашей приспособленческой философии и уже, так сказать, достает нас с другого (по отношению к диамату) бока. О субъективности научного знания говорит целое течение в современном науковедении, «социология науки», которое делает свои выводы, изучая поведение и высказывания ученых, не понимая смысла полученных ими результатов и их обязательности. Они не осознают неотвратимого действия общечеловеческой практики как критерия истины, они просто плохо знакомы с физикой, думая, что новое научное достижение отменяет прошлое знание.

Возможно, что Б. Н. Пановкин опирался на известное высказывание Н. Бора о том, что раньше было принято считать, что физика описывала Вселенную, а теперь мы знаем, что физика описывает лишь то, что мы можем сказать о Вселенной. Близких убеждений придерживался и А. Эддингтон. Мы рассмотрим их в заключительной главе. Не соглашаясь с Б. Н. Пановкиным и неокантианцами в вопросе об универсальности системы научных понятий для всех субъектов Вселенной, отметим, что он был безусловно прав, говоря о том, что даже в благоприятных условиях для осуществления информационного взаимопонимания необходимо ведение многостадийной «встречной рефлексивной игры». Конечно, высока вероятность того, что ОНИ владеют и такими знаниями, для

которых у нас нет — пока! — соответствующих понятий. Но ОНИ бесспорно знакомы и с нашими теперешними знаниями — их никто никогда не отменит.

* * *

Итак, мы рассмотрели три возможности объяснения молчания Вселенной. Увы, все они не оставляют нам надежды — но они не являются единственно возможными. Имеются и менее пессимистические объяснения парадокса Ферми. Сразу надо сказать, что литература по этой проблеме необъятна, и трудно выяснить, кто первый высказал ту или иную мысль. Во многих случаях приоритет принадлежит Ст. Лему. Это относится и к следующему рассуждению.

Наша технологическая цивилизация развивается очень быстро. Если это является общим правилом, период времени, в течение которого различные цивилизации находятся на близкой стадии развития и способны технически и понятийно войти в контакт друг с другом, может быть очень коротким. Со времени изобретения радио прошло лишь сто лет, 30 лет назад мы научились ловить нейтрино и вот-вот примем гравитационное излучение. Периоды с близкой технологией, длящиеся немногие века, должны совпасть во времени, несмотря на возможность различия возрастов цивилизаций в миллиарды лет! Вероятность этого ничтожно мала, тем более мала вероятность найти такую цивилизацию достаточно близко от Солнца. Правда, в этом рассуждении предполагается неисчерпаемость научного знания — так же, как и в предположении о движущемся горизонте познания.

Вот что говорит об этой проблеме сам Станислав Лем (в романе «Фиаско»): «„Окно контакта“ — это космический миг. От лучины до керосиновой лампы прошло 16 000 лет, от лампы до лазера — сто лет. Количество информации, необходимой для шага „лучина—лазер“, может быть приравнено к информации, необходимой для шага от обнаружения наследственного кода к его внедрению в послеатомную промышленность. Рост знаний в фазе „окна контакта“ идет по экспоненте, а в конце ее — по гиперболе. Период контакта — возможности взаимопонимания — в худшем случае длится 1 000 земных лет, в лучшем — от 1 800 до 2 500 лет. Вне окна для всех цивилизаций, незрелых и перезрелых, характерно молчание. Первые не располагают достаточной для связи мощностью, вторые либо инкапсулируются, либо создают устройства для сообщений со сверхсветовой скоростью».

Заметим, что межзвездные расстояния столь велики, что, за исключением радиоперехватов разговоров внутри звездного скопления, поиски сигналов ВЦ могут быть успешными, лишь только если ОНИ занимаются альтруистическим распространением политических и научных знаний. Вероятность этого невелика, хотя с сильными аргументами в ее пользу выступает один из пионеров проблемы Ф. Дрейк. Он отмечает, что вероятность выжить больше у той цивилизации, в которой альтруистические настроения победили.

* * *

Так или иначе, отсутствие сигналов от ВЦ еще не обязательно означает отсутствие их самих. Рассмотрим теперь, в каких формах могут существовать носители разума. Это ведь не обязательно целые цивилизации. В провидческой книге «Сумма технологии», изданной еще в 1968 г., Ст. Лем подробно обсуждает возможность небелковых форм жизни. Хорошо известен и роман замечательного астрофизика Ф. Хойла (скончавшегося 22 августа 2001 г.) «Черное облако», в котором описывается взаимодействие с обитателями Земли разумного плазменно-пылевого облака. Понятно, что для таких носителей интеллекта планеты не нужны, и тогда долгожданное открытие в 1995 г. первой планеты у звезды 51 Пегаса (ныне их известно более 100) не столь уж важно для обсуждаемой здесь проблемы.

Известный физик Ф. Дайсон отметил в 1980 г., что сущность жизни связана с организацией, а не с субстанцией, и что за достаточное количество времени жизнь приспособливается к любой окружающей среде. Необходим только достаточный запас вещества и энергии. Расход энергии пропорционален квадрату температуры, так что холодная среда более благоприятна для сложных форм жизни. Жизнь зависит еще и от отношения «сигнал/шум», и чем холоднее среда, тем ниже фон и экономнее расход энергии.

«Черное облако» Хойла как раз имеет температуру немногим выше абсолютного нуля. Не только молекулы дают сложную структурность, вещество и энергия плюс структурность есть у плазмы — замороженные поля, гидромагнитное динамо на больших протяженностях, или же турбулентность на меньших — все это, как и способность к самоорганизации — свойства плазмы, ионизованного газа.

Конечно, принцип «презумпции естественности» повелевает до последней крайности искать естественное объяснение. Другими словами, на пути редкого случайного сочетания событий и структур можно объяснить практически все. Конечно, даже и сверхцивилизации, физическими носителями которых являются небиологические структуры, подчиняются физическим законам нашей Вселенной, так что искать искусственное нелегко...

В 1979 г. В. М. Цуриков предположил, что возможным критерием искусственности объекта может быть наличие в его спектре линий, смещенных одновременно и в красную, и в синюю сторону. И в том же году такой объект был найден! Это объект SS 433, звездный остаток сверхновой, о котором мы уже рассказывали в главе 15. В его спектре наблюдаются три системы линий водорода и гелия, две из которых периодически смещаются в красную и в синюю сторону. Это было вскоре объяснено наличием двух узких пучков ионизованного газа, бьющих в разные стороны из полюсов компактного объекта, входящего в тесную двойную систему с голубой массивной звездой. Некоторые удивительные характеристики подобных космических фонтанов, такие, как очень малый угол раствора пучка (око-

ло 1° в случае SS 433) остаются необъясненными и поныне, но, по общему мнению, принцип «презумпции естественности» сработал и на этот раз.

В своей книге «Космический субъект» В. А. Лефевр²⁾ в качестве возможного носителя разума рассматривает магнитные плазмоиды, в центре которых находятся объекты, подобные SS 433 в нашей собственной Галактике. Он обнаружил, что в известные моменты соотношения длин волн линий водорода в спектре SS 433, смещающихся вследствие высокой скорости пучков плазмы и их прецессии, очень близки к соотношению тонов музыкальной до-мажорной гаммы, и предположил, что таким путем этот космический субъект извещает своих собратьев о своем эмоциональном состоянии.

Напомним, что В. Шварцман, наш безвременно ушедший из жизни талантливый астрофизик, уже давно настаивал на том, что проблема внеземного разума является общекультурной и что внеземные цивилизации скорее обмениваются музыкальными сигналами, чем научной информацией. Универсальность и особое значение музыки следует также из излагаемой в книге В. А. Лефевра весьма общей модели человека, основанной на его теории рефлексивности и законах физики.

Недавно Н. С. Кардашев снова подчеркнул, что оценки возраста старейших объектов галактического диска (а только в диске имеются звезды с заметным содержанием тяжелых элементов, основой углеродной жизни) в 9 млрд лет, а некоторых метеоритов в 14 млрд лет, означают принципиальную возможность существования в нашей Галактике цивилизаций, на 6–8 млрд лет старше нашей. Н. С. Кардашев по-прежнему уверен в том, что необходимо продолжать усилия по поиску объектов Вселенной, которые могут быть связаны с инженерной деятельностью сверхцивилизаций, во всех диапазонах электромагнитного спектра. Наиболее перспективным является далекое инфракрасное и миллиметровое излучения. Он обращает также внимание на то важнейшее обстоятельство, что 95 % вещества Вселенной недоступно пока для изучения и обнаруживается только по его гравитационному воздействию на видимые небесные тела, и считает необходимым учитывать также возможную многосвязность пространства-времени. ОНИ имели время и возможность ускользнуть от нашего внимания! Н. С. Кардашев заключает, что парадокс Ферми — «это величайшая загадка природы».

* * *

Обсудим в конце главы вопрос о том, есть ли все же надежда в обозримом будущем обнаружить сигнал, с которым можно начать рефлексивную игру в угадку. Такой сигнал, как следует из вышеизложенного, можно ожидать от цивилизации, не намного опередившей нашу и имеющей близкую к нам технологию. Надежда поймать ненаправленный, изотропный

²⁾ Лефевр В. А. Космический субъект. М.: Инкварто, 1996.

сигнал слишком мала — мощность такого сигнала должна быть чудовищно велика, несовместима с нашим предположением о близости технологий. Кроме того, как считает В. А. Лефевр, изотропный сигнал быстро теряет информативность, причем это относится и к передаче «сигнала» космическим распространением самих носителей разума. Однако вероятность того, что направленный сигнал случайно попадет прямо к нам, еще меньше. (Правда, какую-то надежду можно возлагать на то, что в диапазоне метровых радиоволн Земля стала ярка лет 60 назад и тем привлекла к себе внимание — надежда, обыгранная в романе К. Сагана «Контакт».)

Предположим теперь, что пространство вплоть до ближайших звезд мы, наверное, — если не погибнет наука — сумеем освоить через сотню-другую лет, и весьма вероятно, что узконаправленные радиосигналы будут использоваться тогда для связи с межзвездными кораблями. Значит, и ДРУГИЕ могут вести себя подобным образом.

Заметим, что в звездных скоплениях расстояния между звездами составляют световые недели и меньше, а возраст звезд почти одинаков. Находящиеся близ таких звезд цивилизации могут развиваться синхронно еще и потому, что могут достаточно оперативно обмениваться значимой информацией. Допустим теперь, что мы можем случайно оказаться на продолжении направленного радиолуча, а мощность сигнала была завышена тамошними инженерами или же рассчитана на возможность приема звездолетами этих цивилизаций далеко за пределами скопления — тогда, направив на такое скопление радиотелескоп, мы можем надеяться подслушать чужой разговор. Особенно если возраст скопления близок к возрасту Солнца.

Скорее всего, другой Разум будет обнаружен в процессе обычных астрономических наблюдений. А они еще в самом начале. Весь спектр электромагнитных излучений стал нам доступен лишь лет 40 назад; возможность приема других сигналов существует только в зародыше. Количество больших телескопов, и радио-, и оптических, исчисляется пока единицами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ГОРИЗОНТ ПОЗНАНИЯ

...Все наше же лицо встречает нас в пространстве...

Шарль Бодлер

Надо любить истину так, чтобы всякую минуту быть готовым, узнав высшую истину, отречься от всего того, что прежде считал истиной.

Лев Николаевич Толстой

Но для человека нет отдыха и нет конца... И когда наконец он покорит все пучины пространства и все тайны времени, он все еще будет у начала.

Герберт Уэллс

К сожалению, темпы истории несоизмеримы с темпом человеческой жизни. В ее поступательном — на больших масштабах — движении бывают не только десятилетия, но и века, отмеченные застоем и попятным движением. Понятие прогресса вышло из моды, но мы будем называть прогрессивными все те изменения в отношениях людей друг с другом и с природой, которые способствуют максимально полному раскрытию творческого потенциала человеческой личности, в том числе и ее способности к исследованию и пониманию окружающего нас мира. «Право на жизнь, свободу и стремление к счастью» — необходимое условие возможности прогресса, но обретение этого права не может быть конечной задачей. Это лишь предпосылка возможности свободно отдаться исследованию тайн природы и нашего места в Мироздании или же отображению своих эмоций и мировосприятия...

Мы полагаем, что безусловно прогрессивным является стремление к тому, чтобы увеличивать власть людей над природой и уменьшать власть человека над человеком. Этот гуманистический идеал является в то же время хорошей формулировкой конечной цели социалистического движения, принадлежащей одному из вождей Великой Российской революции. Высокий престиж науки в Советском Союзе определялся не только ее ролью в военном соревновании с США, но и доктринами диалектического материализма. (Надо ли оговаривать, что идеалы

социализма были лишь словесным прикрытием сталинской диктатуры, и не были претворены в жизнь ни в одной из стран, где царила она или ее ставленники и преемники. Сталинистский псевдосоциализм неизбежно должен был привести к реставрации капитализма.)

Поэт-диссидент В. Гавел, ставший президентом Чешской Республики, заявил в 1992 г., что Советский Союз олицетворял собой «культ объективности», созданный наукой, и навсегда его дискредитировал. Распад СССР, по его мнению, знаменует конец эпохи, в которой доминировала вера, что мир — «это полностью познаваемая система, управляемая конечным числом универсальных законов, которые человек может постичь и рационально направлять для собственного блага». Но говорить так означает выплескивать вместе с водой и ребенка — человек действительно постигает и использует для собственного блага законы Природы, при любом общественном строе. В. Гавел, единомышленникам которого мы горячо сочувствовали в 1968 г., прав только в своем сомнении относительно конечности числа этих законов...

Престиж науки действительно падает во всем мире. Даже некоторые ученые говорят, что основные законы мироздания уже открыты, и потому грядет закат науки. Многие философы и даже «наукоеды» говорят о субъективном характере выводов науки. Модная философия постмодернизма утверждает, что все на свете — набор необязательных текстов. На этом фоне расцветает воинствующий клерикализм, который надеется взять реванш в многовековой войне с наукой. Возникают опасения, что, как прошла античная наука, сменившаяся тысячелетием мрака, так окончится и расцвет современной науки, начавшийся с эпохи Возрождения. Принципы рационализма, вера в способность человека понять Мироздание, утвержденные философами и учеными Просвещения, под смертельной угрозой. Регресс социальный сопровождается регрессом мировоззренческим. И Россия снова впереди планеты всей — на этот раз в попятном движении к Средневековью.

О взаимозависимости научного и общественного прогресса свидетельствует история и самый процесс рождения науки в античном обществе. Вопреки часто встречающемуся мнению, западная цивилизация, наследница греко-римской, не является лишь одной из многих в ряду двух десятков цивилизаций. Она единственная, в которой родилась и процвела, после мучительного тысячелетнего перерыва, наука о природе. «Нет ничего более характерного для нашей западной цивилизации, — пишет К. Поппер¹⁾, — чем тот факт, что она неразрывно связана с наукой. Это единственная цивилизация, которая породила науку о природе и в которой эта наука играет решающую роль».

Современная цивилизация — и в конечном счете современная наука — ведут свое начало от поколения афинян, которое Карл Поппер справедливо называет великим — от поколения Перикла, Геродота, Софокла и Сократа, у которого «рождалась новая вера в разум, свободу

¹⁾ K. Popper. In search of a better world, TJ Press, 1996, p. 209.

и братство всех людей — новая и, я полагаю, единственно возможная вера открытого общества».

Можно высказать догадку, что необычайная изрезанность побережья Греции, обилие полуостровов и островов, довольно высокие горы внутри страны способствовали развитию именно морских сообщений и, значит, созданию колоний вдали от исходных точек, что привело к взаимодействию культур, рождению торговли и дальнейшему развитию мореплавания. Потребности судоходства заставляли людей днем и ночью всматриваться в расположение небесных светил, и это, несомненно, способствовало рождению древнейшей науки — астрономии.

Резюмируя высказывания Поппера, можно утверждать, что наука и открытое общество родились совместно. Рационализм, вера в разум, на которой зиждется научное исследование, неразрывно связан с верой в идеалы открытого общества и, следовательно, с верой в социальный прогресс. Позиция критического рационализма, занимаемая Поппером, придает большое значение логической аргументации и опыту; она предполагает, что каждый может совершить ошибку, исправить которую можно с помощью критики со стороны других. Учиться на собственных ошибках, говорит Карл Поппер, можно, лишь когда принимаешь всерьез других людей и их аргументы. Рационализм подразумевает, что каждый человек имеет право быть услышанным и право отстаивать свои доводы. «В конечном счете рационализм обуславливает признание необходимости социальных институтов, защищающих свободу критики, свободу мысли и, следовательно, свободу человека. К тому же он устанавливает нечто вроде морального обязательства поддерживать такие институты»²⁾.

Тем, кто говорит, что вере в разум можно противопоставить веру в мистицизм и иррационализм, а вера — дело выбора, можно сказать одно — взгляните в окружающую вас жизнь, вспомните историю. Общество, выбравшее иррационализм, в наше время обречено на гибель.

Зародившись в Европе, наука изменила жизнь всего человечества. Триста лет назад в Индии и Европе уровень жизни был одинаково низок. В 1994 г. реальный доход на душу населения был в Индии в 20 раз меньше, чем в США. Именно завоевания науки и порожденной ею техники привели к тому, что благосостояние населения давно уже не связано с количеством обрабатываемой земли.

У людей короткая память. Все дело в том, что обычный промежуток между появлением результата научной работы и основанным на нем технологическом достижении — а затем и бытовом приборе, лекарстве, средстве передвижения — превышает продолжительность человеческой жизни. «Наука есть наилучший способ удовлетворения своего любопытства за государственный счет» — это шутливое высказывание Л. А. Арцимовича 40-летней давности на все лады повторяют ныне те, кто думает, что эти слова оправдывают нынешнее пренебрежение наукой. Да, редко

²⁾ К. Поппер. Открытое общество и его враги. Т. 2. М., 1992; Soros Foundation, с. 275–276.

бывает так, что уже в ходе работы исследователь думает о его «практических» результатах, но общество, если оно не руководствуется принципом «после нас хоть потоп», должно обеспечивать и те направления научной работы, которые определяются внутренней логикой научного исследования, а не только сиюминутными потребностями жизни.

* * *

Вся жизнь современного человечества и сама способность нашей планеты нас прокормить определяется достижениями науки; они незаметны, как воздух, но, как воздух, обуславливают ныне самую возможность жить на Земле. Мы утверждаем, что в конечном счете это явилось следствием способности человека, ничтожной твари на ничтожной пылинке в глубинах Вселенной, объективно и однозначно отразить ее черты в своем знании.

У этой точки зрения были и есть серьезные противники. О том, что наше знание предопределено и ограничено специфически человеческим перцептивным и понятийным аппаратом, писали в том или ином контексте И. Кант, А. Эддингтон и многие другие; как говорилось в предыдущей главе, в сущности именно этот вопрос обсуждался в 1970-е гг. Б. Н. Пановкиным и другими — однако же в завуалированном виде, обусловленном однозначным и широко известным решением этой проблемы в государственной философии.

В данном случае, как это уже стало правилом в XX веке, наиболее четкая и образная формулировка философской проблемы принадлежит ученому. А. Эддингтон говорил о том, что мы закидываем сеть в океан мироздания, но можем уловить только то, что больше ячеек сети, — и в конечном счете, найдя загадочные следы на берегу океана, обнаруживаем, что они — наши собственные...

Сходные взгляды высказывались и смелыми отечественными философами в 1970-х гг., — мы как бы смотрим на действительность сквозь узкое окно, и много видеть нам не дано. Они пытались доказать, например, что электрон существует только как социальное явление, хотя некоторые предпочитали формулировку, что «объективно существует нечто такое, что мы на данном уровне развития культуры представляем себе как электрон». Ныне М. А. Розов задается вопросом — а можно ли сказать, что объективно существует нечто такое, что мы в свое время представляли себе как флогистон или как мировой эфир. Да, конечно, — деталь объективной реальности, обозначавшаяся когда-то как флогистон, безусловно, существует объективно и поныне, хотя мы знаем теперь, что это не жидкость, а мера хаотического движения молекул. Точно так же функции, приписывавшиеся эфиру, несет ныне электромагнитное поле. Никто ведь не требует от науки, чтобы она изначально правильно описывала мир. «Истина — это процесс»...

Нынешняя разновидность антинаучно настроенных науковедов, называемая «социологи знания», утверждает, развивая взгляды Т. Куна

и П. Фейерабенда, что научная истина является не определенным этапом отражения и понимания объективных закономерностей мироздания, но представляет лишь продукт соглашения исследователей между собой. Эти взгляды являются составной частью модной философии постмодернизма, которую справедливо называют «эстетствующим иррационализмом». Надо прямо сказать, что теоретики постмодернизма не заслуживают наименования философов, — это неучи и шарлатаны, рядящиеся в философские одежды. Неоднократно демонстрировалось, что они просто не понимают, о чем идет речь, рассуждая о новых достижениях науки. Обманутая публика оглядывается друг на друга, и никто не решается сказать, что король-то голый. Американский физик А. Сокал провел в 1996 г. эксперимент, доказывающий это утверждение. Он опубликовал статью о переломе в философии науки (под названием «Нарушая границы: к трансформативной герменевтике квантовой гравитации»), которую псевдофилософы с восторгом восприняли как развитие «постмодернистского дискурса». Однако дождавшись восторгов этой публики, Сокал заявил, что его статья является бессмысленным набором слов, лишь правильно связанных грамматически...

Философствующие иррационалисты договариваются до того, что социально обусловлены даже математические истины. В «социологии науки» якобы даже «показано, что $2 + 2 = 4$ является истиной социально детерминированной». Эти люди живут в мире собственных иллюзий и хотят навязать их нам. Как говорят злые языки, объективную реальность они воспринимают как иллюзию, обусловленную недостатком алкоголя в крови. Джордж Оруэлл как будто предвидел достижения «социологов познания», вкладывая в уста Эммануэля Голдстейна такие слова: «Нельзя игнорировать физические факты. В философии, в религии, в этике, в политике дважды два может равняться пяти, но, если вы конструируете пушку или самолет, дважды два должно быть четыре. Недееспособное государство раньше или позже будет побеждено, а дееспособность не может опираться на иллюзии»³⁾.

Действительно, критерий общечеловеческой практики остается последней инстанцией. Водородная бомба взрывается в согласии с основанной на квантовой механике теорией термоядерных реакций, развитой первоначально для объяснения источников энергии звезд (и недавно подтвержденной регистрацией требуемого этой теорией потока нейтрино от Солнца), траектории межпланетных аппаратов и элементарных частиц в ускорителях планируются с учетом эффектов теории относительности, проявляющихся при больших скоростях. Иначе не сработает!

Это азбучные истины, восходящие к Гегелю и четко сформулированные В. И. Ульяновым-Лениным. «Практика человека и человечества есть проверка, критерий объективности познания ... несомненно, практика стоит у Гегеля, как звено, в анализе процесса познания и именно

³⁾ Дж. Оруэлл. 1984. М.: Прогресс, 1989. С. 137.

как переход к объективной („абсолютной“, по Гегелю) истине. Маркс, следовательно, непосредственно к Гегелю примыкает, вводя критерий практики в теорию познания: см. тезисы о Фейербахе»⁴⁾. И далее: «Истина есть процесс. От субъективной идеи человек идет к объективной истине через „практику“ (и технику)» (Там же, с. 183).

Конечно, для людей, готовых уморить голодом половину человечества, лишь бы десять его процентов могли купаться в роскоши и изображать удовольствие от постмодернистского бреда, Маркс и Ленин не авторитеты, но существование объективных критериев истины всегда было ясно исследователям. «Истина — это то, что выдерживает проверку опытом»⁵⁾. Макс Планк говорил: «...я понял тот далеко не очевидный факт, что законы человеческого мышления совпадают с законами, управляющими последовательностями впечатлений, которые мы получаем от окружающего мира. И поэтому мышление позволяет человеку проникнуть внутрь этого мира. Первостепенную роль при этом играет то, что внешний мир является чем-то не зависящим от человека, чем-то абсолютным...» (цит. по кн.: Д. Томсон. Дух науки. М.: Знание, 1970. С. 156.)

Последние слова выражают исходную предпосылку научного исследования (в формулировке А. Эйнштейна: «Физика есть стремление осознать сущее как нечто такое, что мыслится независимым от восприятия», — СНТ, т. IV, с. 289), справедливость которой опять-таки подтверждается критерием практики.

Адекватность наших понятий нашему миру является следствием того, что мы — его дети. Эволюционная теория познания утверждает, что «субъективные познавательные структуры соответствуют миру, так как они сформировались в ходе эволюции путем приспособления к этому реальному миру. Они согласуются (частично) с реальными структурами, потому что такое согласование делает возможным выживание»⁶⁾.

Смена научных теорий именно и означает, что истина — это процесс все более полного приближения к объективной истине. Процесс научного исследования развивается в соответствии с принципом соответствия Нильса Бора, который в его наиболее общей формулировке, предложенной И. В. Кузнецовым, гласит, что теории, справедливость которых доказана для той или иной области физических явлений, с появлением новых более общих теорий сохраняют свое значение как предельная форма или частный случай новых теорий.

Принцип соответствия можно рассматривать как критерий научности любой теории. Теория, являющаяся правильным следующим шагом к истине, объясняет не поддающиеся старой теории явления таким образом, что старая теория остается предельным случаем новой, как ньютоновская механика остается работоспособным пределом эйнштейновской

⁴⁾ В. И. Ленин. ПСС. 5-е изд. М.: ГИПЛ, 1963. Т. 29. С. 193.

⁵⁾ А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. Т. IV. М.: Наука, 1967. С. 323.

⁶⁾ Фоллмер Г. Эволюционная теория познания. М.: Русский двор, 1998. С. 131.

при скоростях, далеких от скорости света. Лишь теория, обладающая этим свойством, достигает успеха, критерием чего является объяснение непонятного ранее, и в особенности возможность предсказаний, подтверждающихся опытом. Флогистон и эпициклы Птолемея не стали частным случаем новой теории по той простой причине, что они соответствовали пранаучной стадии постижения действительности. В зрелой науке соблюдение принципа соответствия обязательно. Как говорил Эйнштейн, «лучший удел физической теории состоит в том, чтобы указывать путь создания новой, более общей теории, в рамках которой она сама остается предельным случаем»⁷⁾. Истина есть процесс!

Критикам науки, пытающимся свергнуть ее с того действительно особого места, которое она занимает в человеческой культуре, можно напомнить слова Станислава Лема о том, что наука — это передний край соприкосновения человека с миром. Эту позицию наука занимает потому, что обладает уникальным методом, систематическим подходом, включающим строгие требования к способам получения и организации знания, которые неизбежно приводят к преемственности между старыми и новыми теориями и все более полному и точному пониманию мироздания.

* * *

Имеется и еще одна глубокая и древняя проблема, которую нельзя обойти в разговоре о пределах знания. Научное исследование исходит из постулата, который в формулировке В. А. Лефевра («Конфликтующие структуры». М., 2000. С. 7) звучит так: «Теория об объекте, имеющаяся у исследователя, не является продуктом деятельности самого объекта». Близкая мысль выражена в любимом изречении Эйнштейна: «Господь изощрен, но не злонамерен». (С ним, однако, не согласны авторы знаменитого сборника «Физики шутят»: «Господи, они открыли новый трансурановый элемент. Как будем реагировать?» — «Добавим еще один нелинейный член в истинное уравнение единого физического поля!») Иными словами, как говорил еще Фома Аквинский, Бог открывается исследователю лишь в меру своей воли... Сотворенная Вселенная принципиально непознаваема без доброй воли ее Творца. Итак, мы должны обсудить гипотезу о Его существовании.

Заметим, что эта постановка вопроса в глобальном плане обобщает проблему, которую мы обсуждали в предыдущей главе — можем ли мы распознать природу тех или иных объектов или явлений, если они являются творением далеко обогнавшей нас цивилизации... Сама мысль о том, что мы наблюдаем продукты чьей-то деятельности, для многих серьезных исследователей представляется еретической. И мы действительно обязаны исследовать все другие возможности. «Природа не роскошествует различными причинами вещей», — учил Исаак Ньютон.

⁷⁾ А. Эйнштейн. СНТ. Т. I. М., 1965. С. 568.

Гипотеза о Высшем Разуме получила не так давно мощную поддержку со стороны руководителей Российской науки. Президент РАН Ю. А. Осипов (газета «Поиск» № 13, 1998) заявил, что «сама научная космология сегодня ставит вопрос о происхождении Вселенной. Было ли что-нибудь до момента $T = 0$? Если нет, то как и откуда возникла Вселенная?» Ему вторит бывший министр науки В. Фортов: «Все создал единый Бог, именно Единый. Если есть Единый Бог, единый промысел, то есть единый предмет исследований». Единый для исследователей и для верующих — спросим мы? Для тех, кто должен подвергать все сомнению, и для тех, для кого сомнение — тяжкий грех?

Ю. А. Осипов далее утверждает, что «сама научная космология сегодня ставит проблемы, соотносящиеся с обсуждающимися традиционной теологией вопросами происхождения Вселенной». Сказать в этом контексте «сегодня» можно было лет этак 50 назад. Это и сделал Римский папа Пий XII, задавший аналогичные вопросы в 1951 г. в своей речи перед Ватиканской Академией наук, озаглавленной «Доказательства существования Бога в свете современной науки». В этой речи утверждалось, что «науке наших дней, проникнувшей взором на миллионы веков назад, удалось, наконец, стать свидетелем этого начального *fiat lux*, этого момента, когда вместе с материей возник океан света...» На это основании Его святейшество заявил: «Творение мира, а следовательно, Творец мира, а следовательно, Бог — вот то слово, которое мы требуем от науки и которого наше поколение ожидает от нее» (цит. по кн.: Труды Второго совещания по космогонии. М.: Наука, 1953. С. 314).

Ю. А. Осипов считает, что не случайно многие естествоиспытатели и математики «в конце концов приходили к вере. Ибо создание любой стройной научной системы неизбежно приводит к мысли о существовании, как в нашей среде говорят, абсолютного разума». Однако же «стройные научные системы» были созданы, например, Лапласом и Эйнштейном, и они, как известно, не нуждались в гипотезе об «абсолютном разуме». Космическое религиозное чувство, о котором писал Эйнштейн, это именно преклонение перед возможностью познаваемости мира. И даже президент Папской академии Наук Ж. Леметр в свое время был другого мнения, чем нынешний президент РАН. В то время как Джинс и Милн — на 70 лет раньше Осипова и Фортова — отождествили начальную сингулярность как акт творения, Леметр говорил в 1958 г., что «вопрос о том, было ли это началом или же творением, чем-то, начавшимся из ничего, является философским вопросом, который не может быть решен физическими или астрономическими рассмотрениями».

Теория сингулярности, говорит Леметр, «остается полностью вне любого метафизического или религиозного вопроса. Она оставляет материалисту свободу отрицать какое-либо трансцендентное Существование. Он может сохранить, на дне пространства-времени, ту же самую умственную позицию, которую он занимал по отношению к явлениям, происходящим в не-сингулярных областях пространства-времени. Для верующего

это означает невозможность какой-либо близости с Богом... Это созвучно со словами Исайи о „Скрытом Боге“, скрытом даже в начале творения».

По сути дела, Президент Папской Академии наук Леметр солидаризировался со словами Лапласа о том, что он не нуждается в гипотезе Бога. Он не желает низвести Бога к роли одной из научных гипотез. Не стоит низводить Бога до этой роли еще и потому, что эта гипотеза, как слишком хорошо известно, объясняет непонятное с помощью еще более непонятного. (Конечно, на эмоциональном уровне любая вера, впитанная с детства, как и всякий импринтинг, необсуждаема и неоспорима. И она, конечно, не имеет никакого отношения к задачам научного исследования. Потому-то и «верую — ибо абсурдно». Неабсурдное — изучаемо и проверяемо, и «верить» в него нет нужды.)

Итак, даже в классической картине начальной сингулярности, расширения Вселенной из точки, гипотеза творения лишь унижает Бога (если Он есть). Современная же космология вообще снимает проблему начала мира. Изначальной сущностью является первичный физический вакуум, в котором спонтанно рождаются расширяющиеся пузыри пространства-времени, — новые вселенные, с самыми разными параметрами, и одной из них — конечно, не самой первой — является наша Вселенная. «В настоящее время нет достаточных оснований полагать, что вся Вселенная в целом родилась примерно 10^{10} лет назад в сингулярном состоянии...» — заключает современная космология⁸⁾.

Мы можем отослать читателя, интересующегося проблемой детальнее и в более общем плане, к сочинениям Бертрана Рассела. Добавим только, что доказательств трансцендентного бытия не имеет не только космология, но и никакая другая наука, в частности, психология. Известно следующее высказывание К. Юнга, кумира «творческой интеллигенции»: «...Существует мнение, что по крайней мере какая-то часть психэ не подчинена законам пространства и времени. Научное подтверждение тому — известные эксперименты Дж. Б. Райна. ... Психэ подчас функционирует по ту сторону пространства, времени и законов причинности... Целостная картина мира требует по крайней мере еще одного измерения, иначе очень многое остается непонятым и необъяснимым. Именно поэтому рационалисты и по сей день настаивают на том, что парапсихологических явлений не существует в действительности, ведь на этом шатком основании держится их мироустройство. Если же такого рода феномены вообще имеют место, рационалистическая картина мира, очевидно, перестает удовлетворять: она неполна»⁹⁾.

Однако же опыты Райна, как и более поздние опыты С. Соа ла, являются доказанным обманом, подтасовкой, фальсификацией! (См., например: П. Куртц. Испытание потусторонним. М.: Академический про-

⁸⁾ А. Д. Линде. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990. С. 229.

⁹⁾ К. Г. Юнг. О жизни после смерти (Воспоминания, сновидения, размышления). М., 1998. С. 369 и 370.

ект, 1999. С. 425). Никаких достоверных свидетельств телепатии и т. п. не существует. Впрочем, по вере вашей да будет вам...

* * *

Концепция множественных вселенных, которая только что упоминалась, является, конечно, умозрительной, поскольку получить свидетельства существования других вселенных вроде бы нельзя по определению. Правда, Н. С. Кардашев («Земля и Вселенная». № 4. 2002) говорит о возможности существования соединяющих разные вселенные горловин из вещества, находящегося в состоянии, близком к состоянию физического вакуума. Поведение тел и излучений вблизи таких горловин может быть похоже на поведение объектов, находящихся под действием отрицательной гравитации; может, например, наблюдаться отклонение света в противоположную от ожидаемой сторону. Сквозь такого рода горловину может наблюдаться и вселенная (впрочем, наверное, в таком случае лучше говорить «часть Вселенной»), находящаяся на ранней стадии развития; она может напоминать яркие ядра галактик...

Заметим, что концепция множественности вселенных приводит к абсурду концепцию Бога-Творца, подобно тому, как существование множества миров, обитаемых разумными существами, привело бы к абсурду концепцию Бога-Спасителя.

Представление о существовании множества других вселенных является неизбежным выводом современной космологии и вместе с тем самым экономным объяснением парадокса, известного под названием «антропного принципа» — тонкой подгонки множества параметров (нашей) Вселенной к возможности появления и существования изучающего Вселенную НАШЕГО разума. Эта терминология была предложена Б. Картером в 1974 г., но аналогичные идеи высказывались неоднократно и ранее, в частности, А. Л. Зельмановым, Г. М. Идлисом и И. Л. Розенталем. Недавно В. В. Казютинский обнаружил, что формулировки, которые почти дословно повторяются ныне, в том числе и о множественности вселенных, появились еще в работе А. Уолесса, соперника-соратника Ч. Дарвина, «Место человека во Вселенной», изданной по-русски в 1904 г. Одна из самых ранних формулировок, близких по духу к антропному принципу, принадлежит К. Г. Циолковскому: «Тот космос, который мы знаем, не может быть иным».

В 1967 г. о зарождении «новой космологии, которая противостоит физической», писал В. А. Лефевр. Он видел ее задачу в том, чтобы «включить биологическую действительность в картину мира как некоторую „норму“, которая в ней естественна и необходима. Представляется целесообразным рассмотреть возможные модели и некоторые принципы их построения, в которых, с одной стороны — „живые организмы“ и „цивилизации“, а с другой — феномены „физической картины“ выступили бы как различные проявления некоторой единой конструкции». Ныне В. А. Лефевр (в книге «Космический субъект») считает, что необходимость включения

биологии и разума в картину мира как его неотъемлемой и необходимой части есть одна из возможных формулировок сильного антропного принципа, утверждающего, что приемлемы лишь такие начальные условия, при которых наблюдатель, подобный нам, с неизбежностью должен появиться.

Затем аналогичная задача была поставлена и на другой стороне горы, сквозь которую предстоит прокопать туннель. Известный космолог А. Д. Линде писал в 1990 г.: «Не может ли быть так, что сознание, как и пространство-время, имеет свои собственные степени свободы, без учета которых описание Вселенной будет принципиально неполным? Не окажется ли при дальнейшем развитии науки, что изучение Вселенной и изучение сознания неразрывно связаны друг с другом и что окончательный прогресс в одной области невозможен без прогресса в другой? После создания единого геометрического описания слабых, сильных, электромагнитных и гравитационных взаимодействий не станет ли следующим важнейшим этапом развитие единого подхода ко всему нашему миру, включая и внутренний мир человека?»

Как эвристический принцип, некоторые из соображений, составляющие ныне обоснования антропного принципа, с блистательным успехом использовались задолго до появления этого термина (кстати, как важно придумать удачное обобщающее название — создать понятие, «ввести концепцию»!). Ф. Хойл в 1954 г. предсказал наличие у ядра углерода энергетического уровня в 7,82 МэВ, исходя из соображения, что только при наличии такого уровня три атома гелия могут в недрах звезд соединиться в атом углерода. Существование такого уровня является результатом сложного взаимодействия многих элементарных частиц — но без него не возникли бы тяжелые элементы и, следовательно, мы сами. Требование возможности существования человека, неявным образом подразумевавшееся Хойлом, было сформулировано Картером как «антропный принцип». Позднее Хойл писал, что для «теолога антропные свойства выглядят подтверждением существования Творца, спроектировавшего мир так, чтобы в точности удовлетворить нашим требованиям».

Последующее развитие космологии предложило и другую возможность, поставив на научную почву старую идею о существовании множества вселенных с самой разнообразной физикой в каждой из них, в том числе и с пригодной для нашего существования. «Вселенная в целом будет существовать вечно, нескончаемо порождая новые и новые экспоненциально большие области, в которых законы низкоэнергетического взаимодействия элементарных частиц и даже эффективная размерность пространства-времени могут быть различны... Мы знаем наверняка, что жизнь снова и снова будет зарождаться в разных областях Вселенной во всех своих возможных видах», — писал А. Д. Линде.

Очевидно, что в ансамбле множества вселенных (которые выше фигурируют как «экспоненциально большие области») может найтись — и поскольку мы существуем, действительно нашлось — место и для такой,

физические законы которой совместимы с существованием сложных структур и в конечном счете человека — для нашей Вселенной.

Смелая попытка оценить возможное число вселенных с разными параметрами принадлежит И. Л. Розенталю, — их число должно быть не менее, чем 10^{50} . Он исходит из оценок вероятности *совместной* тонкой «подгонки» ряда параметров микромира к возможности существования известных нам структур и законов физики. Так, достаточно увеличить массу электрона в три раза, чтобы при тех сравнительно низких температурах, когда шло образование галактик, стала возможна реакция соединения протона с электроном с образованием нейтрона и нейтрино. Все во Вселенной состояло бы из одних нейтронов... Но масса электрона почему-то — к счастью для нас — в сотни раз меньше массы любой другой элементарной частицы. Далее, ядро дейтерия, состоящее из протона и нейтрона, устойчиво только потому, что разница масс этих частиц очень невелика. Эта устойчивость обеспечивает возможность синтеза более тяжелых элементов. Оказывается, что различие масс во всех других семействах элементарных частиц намного больше, чем у протонов и нейтронов — и т. д. Перемножение вероятностей такого рода маловероятных удач и дает число 10^{-50} для вероятности возникновения вселенной (нашей Вселенной!), обладающей всеми такого рода странностями одновременно...

Ситуация немножко напоминает ту, с которой каждый из нас столкнулся в раннем детстве — почему я — это я? После свершения события вероятность его становится равна единице, сколь бы ни были низки ее оценки до эксперимента. А без этой удачи некому было бы и задавать вопросы. Такого рода вывод из антропного парадокса кажется гораздо более естественным, чем предположение о том, что Господь знал о том, какая Вселенная нужна для человека...

* * *

Итак, где же пределы человеческого знания? Да, мы лишь смотрим в окно, но то, что мы видим в окно, — уже приближение к истине, и мы прорубаем все новые окна. Наука не отдает завоеванных территорий; хотя в каждый данный момент наше познание ограничено, горизонт отступает с каждым нашим шагом, и освоенная территория — наша. Это бесспорно, и единственная нетривиальная проблема, заслуживающая обсуждения, состоит в том, бесконечен ли этот процесс, приближается ли познание к полной истине асимптотически, или настанет момент, когда все законы физического мира станут известны и останется лишь задача объяснения с их помощью бесконечного разнообразия наблюдаемых явлений.

Можно выделить три точки зрения на эту труднейшую проблему.

1. Создание единой «теории всего» не за горами. К этому стремился Эйнштейн, о перспективах успеха говорит создание Максвеллом теории электромагнитных сил, еще в XIX в., и — уже на глазах нашего поколения — появление единой теории электрослабых взаимодействий. Почти все уверены, что мы близки к построению «великого объединения»,

включающего силы внутриядерного взаимодействия, видны перспективы включения в единую теорию и гравитации. Многие крупнейшие физики надеются на скорый и окончательный успех, например, Р. Фейнман. Отсюда разговоры о «конце науки», о том, что электрон исчерпаем...

Действительно, мы как будто уже знаем все типы физических взаимодействий. Кварки и глюоны вряд ли удастся разбить на что-то еще. Тем более исчерпаны такие науки, как география и даже химия, которую всю физики могут «сосчитать», хотя химики управляют своими методами гораздо быстрее. Конечно, мы плохо еще понимаем жизнь и почти не понимаем сознание, так что речь здесь идет только о физической теории, не о науке вообще. Но эта теория безусловно лежит в фундаменте всех явлений мироздания. Тотальный редукционизм — вероисповедание почти всех исследователей.

2. Возможно, что имеет место асимптотическое приближение к абсолютной истине. Нам давно уже кажется, что мы уже к ней близки, но вдруг изменяется масштаб, и зазор снова и снова оказывается громадным — подобно тому, что случилось в последние годы в космологии. Неуклонное следование нашего знания принципу соответствия, включение старого знания в новую теорию говорит, однако, о поступательном движении знания, приближении к истине. Особенно важно то, что практика доказывает нашу способность правильно оперировать вещами, лежащими далеко за пределами непосредственного чувственного восприятия.

3. Наука не отдает однажды завоеванные территории, но продвижение вперед безгранично в принципе, нет предела, пусть даже и достигаемого в бесконечности. Неизбежность такого развития хорошо описал Г. М. Идлис¹⁰⁾. Он отмечает, что цивилизации, которые перестают развиваться, по существу, перестают заслуживать это название; это следует уже из того, что необходимость экспоненциального развития науки заложена в ней самой. Этот вывод следует из теоремы Гёделя, согласно которой в рамках любой достаточно содержательной теории всегда можно сформулировать утверждение, которое нельзя ни доказать, ни опровергнуть в пределах аксиоматики, на которой основана эта теория, так что при ее обобщении приходится иметь дело с двумя альтернативными возможностями. Решение действительно важной проблемы обязательно порождает несколько новых нерешенных проблем, и с многочисленными случаями такого рода мы встречались в этой книге. Впрочем, ситуацию образно сформулировал еще Бернард Шоу: «Наука всегда оказывается неправа. Она никогда не решает вопроса, не поставив при этом десятка новых».

Развитие науки и цивилизации требует систематического роста материальных и энергетических ресурсов, и даже выход за пределы Солнечной системы сравнительно ненадолго спасает положение. Стабилизация уровня потребляемой энергии даже на уровне всегалактической должна быть неприемлемой для цивилизации, и Г. М. Идлис предполагает, что она

¹⁰⁾ Идлис Г. М. // Проблема поисков внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981. С. 210.

должна найти способ перейти к космологической экспансии — «внутрь» элементарных частиц, в другие вселенные... Тогда и на нашей Земле, говорит Г. М. Идлис, жизнь, возможно, «возникла не случайно, а в результате разумной деятельности (или информационного проникновения) некоторой неизмеримо более развитой сверхцивилизации». Этим может объясняться и поразительная универсальность генетического кода, побудившая Ф. Крика и Ф. Хойла возродить идею панспермии.

Если дело обстоит таким образом, развитие науки можно уподобить построению беспредельной мозаичной картины. Новое знание должно составлять целостную картину со старым, новые кусочки мозаики по определению должны быть согласованы со старыми, а когда их накапливается достаточно для того, чтобы увидеть новую цельную картину (лучше сказать — цельный фрагмент бесконечной картины), часто оказывается, что нужно подкорректировать элемент внутри уже существовавшей картины. Истина есть процесс. Говорят и о восхождении на вершину, с которой открываются все новые и новые вершины, и об увеличении площади соприкосновения с неизвестным по мере расширения сферы знания. Недавние достижения космологии как будто приоткрывают дверь в новый мир.

* * *

Мы уже говорили в предыдущей главе о связи проблем молчания вселенной и границ человеческого знания. Она особенно ярко выявлена В. М. Липуновым в 1988 г. Он подчеркивает несоизмеримость возраста Вселенной T , около 10 млрд лет, и характерного времени t экспоненциального развития нашей цивилизации, которое он принимает равным 100 годам. Здесь, конечно, принимается, что нынешний темп технологического развития — постоянная величина.

Действительно, за какие-нибудь 300 лет человеческий разум от понимания законов движения планет вокруг Солнца пришел к объяснению всей нашей Вселенной (кроме, может быть, первых долей секунды ее существования) — и заподозрил существование множества других вселенных. Сто лет назад летательные «аппараты тяжелее воздуха» были еще мечтой, а ныне посланные рукой человека приборы исследуют межзвездное пространство далеко за орбитой Плутона, самой далекой планеты. Радио было только в зачатке, а ныне мы способны принять сигналы такой же мощности, как и наши, со всей Галактики.

Липунов оценивает потенциальный рост нашей технологической цивилизации за время существования Вселенной гигантским безразмерным числом, $e^{T/t} = e^{10^8} = 10^{43\,000\,000}$. Десять в степени 43 миллиона! С такими числами физика еще не сталкивалась, говорит Липунов. Число, обратное этому, он рассматривает как вероятность отсутствия космических чудес — она практически равна нулю.

Липунов далее отмечает, что признание бесконечности Вселенной во времени означало бы уже не парадокс, а тупик в проблеме внемозгового разума, который имел столько времени для своего развития... Выход

из него был предложен К. Г. Циолковским в признании всепроницающего и неосознаваемого нами присутствия разума, в идее разумного атома и разумной Вселенной — выдвинутой еще в те времена, когда она считалась вечной. Однако В. М. Липунов подчеркивает, что современная космология снова подводит нас к выводу о не ограниченных временем возможностях появления и эволюции жизни в разных вселенных. И далее он напоминает мысль Эйнштейна (из письма к М. Соловину в мае 1952 г.) о том, что «априори можно было бы ожидать хаотического мира, который невозможно познать с помощью мышления». Однако, хотя аксиомы физической теории созданы человеком, говорит Эйнштейн, «успех этого предприятия предполагает существенную упорядоченность объективного мира, ожидать которую априори у нас нет никаких оснований. В этом и состоит „чудо“... Любопытно, что мы должны довольствоваться признанием чуда, ибо законных путей, чтобы выйти из положения, у нас нет».

В конце концов, В. М. Липунов приходит к выводу, что одновременное признание и бесконечной сложности мира, и его успешной познаваемости должно вести к признанию существования «Сверхразума — научно открываемого Бога». Логика тут не вполне ясная. Он исходит из уверенности в том, что в просто устроенной вселенной разум быстро исполняет свою функцию познания и чахнет без пищи...

* * *

Концепция множественности вселенных с невообразимо отличающимися от наших законами физики в каждой из них, опирающаяся на выводы современной космологии, на наш взгляд, может разрешить противоречие. Весь Мир в целом достаточно сложен, но из этого не следует бесконечная сложность одной из его бесчисленных вселенных — нашей Вселенной, обитатели которой устроены в соответствии со случайно возникшими на стадии начального расширения ее законами.

Виднейший американский космолог (не фантаст!) Эдуард Харрисон в 1995 г. предложил идею создания и естественного отбора вселенных, содержащих разумную жизнь. Теоретические пути созидания вселенных уже известны, для этого надо всего лишь научиться создавать черные дыры из элементарных частиц с энергией порядка 10^{15} Гэв — всего лишь на 13 порядков больше, чем в наших мощнейших ускорителях... Расширяясь в другое пространство, эти дыры превращаются во вселенные. «Важное обстоятельство — замечает Э. Харрисон, — состоит в том, что если существа с нашим ограниченным интеллектом могут предаваться мечтам о дерзких, но, по-видимому, правдоподобных схемах изготовления вселенных, то существа с намного более высоким интеллектом могли бы знать и теоретически, и технически, как именно это сделать»¹¹⁾. То,

¹¹⁾ E. R. Harrison. The natural selection of universes containing intelligent life. Quater. J. RAS, 36, 193–203, 1995.

что мы сегодня считаем принципиально возможным, наши потомки научатся претворять в действительность. Во всяком случае, это много раз подтверждалось в человеческой истории.

Разумная жизнь в исходной вселенной создает новые вселенные; Харрисон полагает, что физические условия в сотворенной новой вселенной будут такими же, как в исходной, пригодными для появления жизни такого же типа, что и исходная. И этот процесс продолжается вечно. Вселенные, наиболее благоприятные для разумной жизни, отбираются как способные к репродукции... Эта гипотеза объясняет и постижимость нашей Вселенной для нас. Она создана существами, чьи мыслительные процессы и понятия принципиально подобны нашим, поскольку мы, в некотором смысле, их далекие потомки. И, возможно, предки следующих поколений повелителей вселенных... А впрочем, если возможно проникновение творцов новых вселенных в их творение, почему бы не допустить, что мы — это и есть Они... Эта смелая мысль принадлежит моему сыну Евгению. Однако же приходится тогда допустить, что прорываясь сквозь узкое горлышко в новую вселенную, они-мы потеряли все свои способности — кроме способности медленно, за многие поколения, приобрести их вновь...

«Непостижимая эффективность математики в естественных науках», о которой писал Е. Вигнер, не только ему представляется загадочной и даже не имеющей рационального объяснения. Эта эффективность доказана бесчисленными примерами. В особенности поразительны случаи, когда разработанная многие десятилетия назад абстрактная математическая теория оказывается адекватно описывающей только что обнаруженные физические явления, что опять-таки удостоверяется коллективной практикой человечества.

В этой нашей способности чувствуется что-то родственное тонкой подгонке параметров Вселенной к возможности нашего существования. Начальные условия возникновения Вселенной, в рамках сильного антропного принципа, могут содержать и потенцию развития у нас способности все большего приближения к пониманию мироздания.

Мы можем теперь сказать, что предположение Э. Харрисона о творении вселенных может быть указанием на конкретный механизм действия сильного антропного принципа. Харрисон заключает, что остается вопрос, кто создал первую вселенную, пригодную для существования подобных нам существ. Можно апеллировать либо к теистическому принципу — внеприродной первопричине, либо к концепции существования ансамбля вселенных с самыми разными физическими законами, параметры одной из которых соответствуют возможности зарождения разумной жизни, творящей затем вселенные, подобные исходной. На наш взгляд, в первой гипотезе нет необходимости.

Выход из положения может быть в признании того, в чем так были уверены М. Планк, Ж. Леметр, Б. Спиноза, ... — наша Вселенная действительно достаточно проста для нас, и наш мыслительный аппарат соразмерен нашей Вселенной по самой природе вещей. Напомним

и о главном тезисе эволюционной теории познания — наше выживание (и рождение науки, адекватно отражающей устройство мироздания) было возможно только потому, что наши познавательные структуры сформировались в ходе эволюционного приспособления к нашему миру. По сути дела, об этом же писал и Ф. Хойл (в «Черном облаке»): «Мы знаем, что Вселенная построена в соответствии с некоторыми основными законами природы, которые постигает или пытается постичь наша наука. Мы склонны к некоторому зазнайству, когда... говорим, что Вселенная построена логично с нашей точки зрения. Но это то же, что запрягать телегу впереди лошади. Не Вселенная построена логично с нашей точки зрения; это мы и наша логика развились в соответствии с логикой Вселенной. Таким образом, можно сказать, что разумная жизнь есть нечто, отражающее самую суть строения Вселенной... Мы построены по принципам, которые вытекают из общего устройства Вселенной».

* * *

Если космические субъекты могут творить новые вселенные, то они воистину и есть воплощение Высшего Разума. Возможно, что на этом пути следует искать и объяснение величайшей загадки человеческого бытия — происхождение морального закона, наполнившего душу Канта столь же сильным удивлением и благоговением, как и созерцание звездного неба. Согласно концепции, развитой В. А. Лефевром в его книге «Космический субъект», это сходство впечатлений может быть глубинно связанным... Он полагает, что главным критерием, отличающим человека от животного, является его способность различать добро и зло, и это должно быть свойством любого космического субъекта. Исходя из этого постулата, вводя специфическое исчисление («алгебру совести») и опираясь на развитую им теорию рефлексивности, Лефевр строит математическую модель обладающего моральным законом субъекта, которая с формальной стороны оказалась подобной второму закону термодинамики. По мысли В. А. Лефевра, это указывает на то, что назначение космического субъекта состоит в борьбе с энтропией, поддержке вечного существования разумных субъектов. При некоторых условиях им приходится действовать, исходя только из предположения, что и все другие будут поступать в соответствии с категорическим императивом Канта — так, как им бы хотелось, чтобы поступали и другие, — только в этом случае сохраняется возможность сохранения их среды обитания...

(Категорический императив Канта есть в сущности главный принцип всех мировых религий. Увы, часто лишь в теории. 29 сентября 1824 г. валенсийская хунта веры арестовала учителя Кйетано Риполя по обвинению в иудаизме. Он утверждал, что суть религии состоит в изречении — не делай другому того, что не желаешь, чтобы делали тебе. 1 августа 1826 г. в Валенсии состоялось торжественное сожжение несчастного иудея. Это был последний зафиксированный в истории акт *auto da fe*. Он вызвал в Европе огромное возмущение, но прошло целых 9 лет, прежде чем судам

инквизиции было предписано прекратить их деятельность¹²⁾. Ни старые, ни нынешние борцы за единственно правильную веру не останавливаются перед убийством инакомыслящих. Религиозные войны продолжаются по сей день...)

В итоге можно сказать, что рассматриваемые совместно предположения о том, что Вселенная создана космическими разумными субъектами и что они — по определению — обладают совестью, способны решить вопрос и о том, откуда она завелась у нас... Такого рода построения могут показаться не более чем фантастикой, но по существу они могут оказаться глубокой метафорой, отражающей, может быть, положение дел, для описания которого у нас просто могут еще отсутствовать адекватные понятия.

* * *

Итак, возможно, что и мы научимся когда-нибудь творить вселенные, возможно, что творение и эволюция не исключают друг друга, и мыслимый многими Творец — не внеприродный субъект, а продукт и причина естественной эволюции. Разве причастность к предельно глубоким проблемам человеческого бытия и мироздания не наполняет жизнь высшим смыслом? И эта причастность осуществляется в науке не на уровне умозрительных рассуждений, как в теологии или философии, а как участие в реальной работе, приводящей к возможности экстраполяции теорий, многократно проверенных в физических опытах и астрономических наблюдениях. Как смешны и убоги высказывания о том, что наука чужда «духовности», чужда высшим потребностям человеческой души...

Наука пришла к пониманию того, что мы, Люди, сможем стать когда-нибудь могущественными, как Боги. Не это ли предвидел П. Тейяр де Шарден, когда писал: «Да, мечта, которую смутно лелеет человеческое научное исследование, — это, в сущности, суметь овладеть лежащей за пределами всех атомных и молекулярных свойств основной энергией, по отношению к которой все другие силы являются лишь побочными, и, объединив всех вместе, взять в свои руки штурвал мира, отыскать самую пружину эволюции. Тем, у кого хватает мужества признаться, что их надежды простираются до этого, я скажу, что они — лучшие из людей и что разница между научными исследованиями и поклонением меньше, чем принято думать».

Мы поклоняемся мечте о том, что в мире, в котором свободное развитие каждого станет неразрывно связано со свободным развитием всех, человеческое научное исследование сможет когда-нибудь взять в свои руки штурвал эволюции...

¹²⁾ Х. А. Льоренте. История инквизиции в Испании. М.: Ладомир, 1999. С. 13.

Издательство УРСС

специализируется на выпуске учебной и научной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской Академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений.



Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Основываясь на широком и плодотворном сотрудничестве с Российским фондом фундаментальных исследований и Российским гуманитарным научным фондом, мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

Сажин М. В. Современная космология в популярном изложении.

Бааде В. Эволюция звезд и галактик.

Чернин А. Д. Звезды и физика.

Кинг А. Р. Введение в классическую звездную динамику.

Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии.

Кононович Э. В., Мороз В. И. Общий курс астрономии.

Розенталь И. Л., Архангельская И. В. Геометрия, динамика, Вселенная.

Ипатов С. И. Миграция небесных тел в Солнечной системе.

Сурдин В. Г. Астрономические задачи с решениями.

Сурдин В. Г. Рождение звезд.

Николаев О. С. Физика и астрономия: Курс практических работ для средней школы.

Хлопов М. Ю. Космомикрофизика.

Хлопов М. Ю. Основы космомикрофизики.

Левитан Е. П. Дидактика астрономии.

Янчилина Ф. По ту сторону звезд. Что начинается там, где заканчивается Вселенная?

Эддингтон А. Пространство, время и тяготение.

Рейхенбах Г. Философия пространства и времени.

Рейхенбах Г. Направление времени.

Уитроу Дж. Естественная философия времени.

Карнап Р. Философские основания физики. Введение в философию науки.

Джеммер М. Понятие массы в классической и современной физике.

Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени.

Шульман М. Х. Теория шаровой расширяющейся Вселенной. (Relata Refero.)

Гамов Г. Мистер Томпкинс в Стране Чудес, или истории о c , G и h .

Гамов Г. Мистер Томпкинс исследует атом.

Поппер К. Р. Объективное знание. Эволюционный подход.

Пригожин И., Николис Г. Познание сложного. Введение.

Пригожин И., Стенгерс И. Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени.

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой.

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:
тел./факс (095) 135-44-23, 135-42-46
или **электронной почтой** URSS@URSS.ru
Полный каталог изданий представлен
в **Интернет-магазине**: <http://URSS.ru>

Издательство УРСС

Научная и учебная
литература